

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione tecnica illustrativa

Regione Toscana  
Comune di Calcinaia



Regione



REGIONE TOSCANA  
Settore Sismica  
Coordinamento regionale  
Prevenzione sismica  
Via San Gallo,34/a 50129 Firenze

Soggetto realizzatore

Tecnici incaricati  
Geol. Roberta Giorgi

Data: Ottobre 2023

**INDICE**

1. PREMESSA .....	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE.....	4
3. CRITERI E MODALITA' OPERATIVE.....	6
5. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	18
6. CARTA DELLE INDAGINI.....	22
7. CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI .....	24
8. CARTA GEOLOGICO-TECNICA (CGT_MS).....	27
8.1. Terreni di Copertura .....	27
8.2. Substrato geologico .....	29
8.3. Modello di sottosuolo .....	30
9. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS) .....	33
9.1. Zone Stabili .....	33
9.2. Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali per amplificazione stratigrafica .....	33
9.3. Zone di attenzione per instabilità.....	41
10. PROCEDURA SEMIQUANTITATIVA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA MOPS.....	45
11. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2 .....	47
12. BIBLIOGRAFIA .....	54

**APPENDICI NEL TESTO**

APPENDICE 1 - Scheda di valutazione semiquantitativa della Carta di MS di livello 2

APPENDICE 2 - Tabelle di correlazione codice identificativo indagini

**ALLEGATI NEL TESTO**

ALLEGATO 1 - Report indagini geofisiche studio MS1

ALLEGATO 2 - Report indagini geofisiche Piano strutturale Intercomunale

**ELENCO TAVOLE ALLEGATE FUORI TESTO**

Carta delle indagini	scala 1:10000
Carta Geologico-tecnica per la MS	scala 1:10000
Sezioni geologico-tecniche	scala 1:10000/1:1000
Carta delle frequenze fondamentali	scala 1:10000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica	scala 1:10000
Carta di Microzonazione Sismica livello 2 - FA0.1-0.5	scala 1:10000
Carta di Microzonazione Sismica livello 2 - FA0.4-0.8	scala 1:10000
Carta di Microzonazione Sismica livello 2 - FA0.7-1.1	scala 1:10000

## 1. PREMESSA

Su incarico del comune di Calcinaia, previa verifica dei requisiti (Determinazione comunale n.368 del 13/09/2022 (CUP F13E2200000002 CIG Z4E36A81CE) è stato effettuato lo studio Microzonazione Sismica Livello 2 e le analisi della Condizione Limite per l’Emergenza (CLE), al completamento dell’incarico già assegnato per le indagini geologiche di supporto alla redazione delle indagini geologiche del Piano Operativo ai sensi del DGPR 5R/2020.

Lo studio è stato oggetto di finanziamento regionale con Decreto Dirigenziale di GRT n. 11231 del 01.06.2022 (BURT n. 24 parte III del 15.06.2022), a seguito della manifestazione di interesse inoltrata dal comune sulla base del Decreto di GRT n. 16720 del 29.09.2021 è stato pubblicato sul BURT n. 40 parte III del 06/10/2021.

Il lavoro è stato condotto in riferimento con quanto riportato nel documento di “MICROZONAZIONE SISMICA REGIONALE – Redazione delle specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica e prescrizioni per le analisi della Condizione Limite per l’Emergenza (aggiornamento 08/09/2021) Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica - Ufficio Prevenzione Sismica, approvato con D.G.R.T. n.977 del 27/09/2021- Allegato A.

Le suddette specifiche tecniche sono state redatte dalle Regione Toscana sulla base delle indicazioni di cui agli art. 5 e 6 dell’O.D.C.P.C. 532/2018 ed in riferimento alle Linee Guida per la Microzonazione Sismica Nazionali e rappresenta un documento aggiornato rispetto a quello approvato con precedenti Deliberazioni di GRT n. 261/2011, 741/2012, 971/2013, 144/2015, 468/2018, 1162/2018 che contiene i nuovi standard di rappresentazione e archiviazione informatica elaborati dalla “Commissione Tecnica per il Monitoraggio degli studi di MS” e la procedura per la definizione delle CLE di cui all’art. 18 dell’O.P.C.M. n. 4007/12, nonché le modalità di finanziamento per gli studi di MS.

Per quanto riguarda il quadro conoscitivo di riferimento, il comune di Calcinaia è dotato di:

- Piano Strutturale Comunale approvato con Delibera C.C. 83 del 18/12/2012, nell’ambito del quale è stato condotto uno studio di Microzonazione di Livello 1, redatto in conformità agli *Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS)*, approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome.
- Regolamento Urbanistico approvato con Delibera di C.C. n. 24 del 03/04/2014,
- Piano Strutturale Intercomunale dell’Unione della Valdera (PSI) adottato con Delibera CC n. 41 del 03/07/2020, in attesa di approvazione.

Allo stato attuale il territorio comunale è dotato di uno studio di Microzonazione Sismica di I livello redatto ai sensi del DPGR n.53R del 25.10.2011, nell’ambito della variante generale dal Piano Strutturale del maggio 2012. Lo studio MS1 è stato verificato a livello regionale, ma non hanno previsto l’utilizzo di finanziamenti regionali e validazioni da parte della commissione nazionale per la Microzonazione Sismica.

Nell’ambito del Piano Strutturale Intercomunale, in occasione del quale sono state effettuate indagini sismiche integrative (MASW e HVSR) è stata revisionata la carta di Pericolosità sismica, senza ad

ogni modo modificare la Carta delle MOPS di MS livello 1.

E' in corso la predisposizione del Piano Operativo comunale le cui indagini geologiche di supporto sono redatte ai sensi del Regolamento Regionale 5/R/2020, ed è in fase di istruttoria l'analisi delle Condizioni Limite di Emergenza (CLE).

A seguito di accordi presi con il Settore Sismica della Regione Toscana, l'estensione dello studio di Microzonazione di Livello 2 ha riguardato l'intero territorio comunale, inserendo rispetto allo studio MS1 anche l'area collinare delle Cerbaie, situata nel settore orientale del territorio comunale. E' stata definita una campagna di indagini integrative ad hoc, realizzate dalla Ditta Gaia Servizi di S. Giuliano Terme, composta da:

- n. 6 prove penetrometriche statiche CPTU;
- n. 2 Indagini sismiche MASW;
- n. 6 indagini sismiche passive ESAC;
- n. 30 indagini sismiche passive HVSr.

I report delle indagini eseguite sono riportati in apposita relazione illustrativa dedicata.

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE

Lo studio è stato condotto secondo le specifiche tecniche contenute dei seguenti testi di riferimento normativo e tecnico:

- Ordinanza del Capo Dipartimento di Protezione Civile n. 780 del 20 maggio 2021 – Attuazione dell’articolo 11 del Decreto legge 28 aprile 2009 n. 39, convertito con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77;
- Ordinanza del Capo Dipartimento di Protezione Civile n.532 del 12 Luglio 2018 – Attuazione dell’art.11 del Decreto Legge 28 aprile 2009 n.39, convertito con modificazioni, dalla legge 24 Giugno 2009, n.77;
- O.P.C.M. n. 3907 del 13.11.2010, che disciplina i contributi economici per gli interventi di prevenzione del rischio sismico, previsti dall’Art. 11 della Legge n. 77 del 24/06/2009;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.4007 del 29 Febbraio 2012 – Attuazione dell’art. 11 del Decreto Legge 28 aprile 2009 n.39, convertito con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n.77;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- Legge n.77 del 24 giugno 2009 – Intervento urgenti di Protezione Civile in materia di prevenzione del rischio sismico;
- D.G.R.T. n.977 del 27/09/2021 DOCUMENTO OPERATIVO PER LA PREVENZIONE SISMICA (DOPS) 2021 – Il stralcio - ALLEGATO A (aggiornamento 08/09/2021) “MICROZONAZIONE SISMICA REGIONALE – Redazione delle specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di Energia – Settore Sismica - Ufficio Prevenzione Sismica;
- D.P.G.R. del 30 Gennaio 2020 n. 5R – Regolamento di attuazione dell’art. 104 della L.R. 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche;
- D.G.R.T. n. 421 del 26/05/2014 - Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell’O.P.C.M. 3519 /2006 ed ai sensi del D.M. 14.01.2008;
- D.G.R.T. N.261 del 18.04.2011, recepimento a livello regionale dell’ OPCM n. 3907/2010 con riferimento all’ Allegato A che individua i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di Microzonazione Sismica , le modalità di predisposizione delle specifiche tecniche per la realizzazione dei suddetti studi, le modalità di recepimento e utilizzo dei risultati degli studi di MS in fase pianificatoria e i criteri di selezione dei soggetti realizzatori degli studi di MS;
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazione (AMPL) – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 2.0 – 2022;
- Specifiche tecniche regionali: Allegato A alla DGRT n.261/2010, Aggiornamento 08/09/2021 – Edizione 7;
- Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 4.2 – Dicembre 2020;
- Istruzioni Tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e di-

namiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana - Programma VEL Toscana – Del. GRT. n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.

- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 2.1 – Gennaio 2018;
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da Liquefazione (LQ) – Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – Versione 1.0 – Marzo 2017;
- Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC) – Conferenza delle Regioni e Provincia Autonome – Presidenza Consiglio dei Ministri (DPC) - Versione 1.0 – Giugno 2015;
- Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome;
- Indicazioni contenute nel Volume di Ingegneria Sismica 2/2011;
- Istruzioni e Criteri generali per la Microzonazione Sismica - GdL DPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13 novembre 2008.

### 3. CRITERI E MODALITA' OPERATIVE

Lo studio di Microzonazione Sismica di I livello MS1 esistente a livello comunale era stato redatto ai sensi del DPGR n.53R /2011, nell'ambito della Variante generale dal Piano Strutturale del maggio 2012, verificato a livello regionale, non ha previsto l'utilizzo di finanziamenti regionali e validazioni da parte della commissione nazionale per la Microzonazione Sismica.

La revisione dello studio di MS1 si è reso necessario a seguito dell'acquisizione delle indagini di nuove indagini derivante dal quadro conoscitivo del recente Piano strutturale Intercomunale, nonché sulla base della nuova campagna di indagine condotta ad hoc, concordata con il servizio sismico regionale.

L'integrazione dei dati noti con la campagna geognostica e geofisica effettuata in questa fase di lavoro e l'inserimento di nuove stratigrafie desunte dai pozzi estratti dal portale ISPRA, ha comportato la necessità, in adempimento alle Specifiche tecniche regionali, di revisionare sia le sezioni geologico-tecniche che la carta delle MOPS eseguite nell'ambito della Microzonazione di livello 1.

Il controllo è avvenuto secondo le modalita' individuate dal Settore Sismica della Regione Toscana (*Criteri e modalita' operative per la stesura delle cartografia di livello 2* Par.6 Allegato A), attraverso tre fase principali :

- Verifica formale di congruenza tra le sezioni geologico tecniche e la cartografia MOPS;
- Verifica di congruenza tra le sezioni geologico tecniche e le risultanze delle indagini;
- Controllo Estrapolazione Areale del modello geologico tecnico 2D riportato nelle sezioni in applicazione del diagramma di flusso sotto riportato .



**Fig.3.1** Classificazione sismica regionale Diagramma di flusso per il passaggio da uno studio di MS di livello 1 ad uno studio di livello 2

In particolare i nuovi dati geotecnici e idrogeologici , dei quali molti presenti lungo le sezioni, hanno permesso di affinare le conoscenze stratigrafiche per i terreni di copertura e talvolta individuare la profondità dell'orizzonte ghiaioso responsabile del contrasto di impedenze nel settore pianeggiante. Sono state pertanto revisionate tutte le sezioni precedenti, con variazioni soprattutto nella zona pedecollinare dove si sono concentrate le nuove indagini.

Inoltre, su specifica richiesta dell'ufficio del settore sismica della Regione Toscana, sono state effettuate indagini geofisiche anche nel settore collinare delle Cerbaie costituiti da depositi Plio-Pleistocenici, seppur esterne al territorio urbanizzato. Ciò ha comportato oltre alla revisione della Carta MOPS, anche una sua estensione a coprire l'intero territorio comunale.

La revisione della carta MOPS si è resa necessarie anche ai fini di un aggiornamento relativo alle aree potenzialmente franose, a seguito dell'adozione da parte dell'Autorità di bacino distrettuale Appennino Settentrionale del "Piano Stralcio assetto idrogeologico per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica (PAI)" , peraltro recepito da nuovo Piano strutturale Intercomunale dell'unione Valdera di cui fa parte il comune di Calcinaia.

Per lo studio di MS1 era stata condotta una campagna di indagine dalla Ditta Gaia Servizi di S. Giuliano Terme, composta da:

- n. 5 prospezioni sismiche a rifrazione con onde P e SH;
- n. 9 indagini MASW per il profilo Vs30;
- n. 15 indagini di sismica passiva HVSR microtremiti a stazione singola.

Per lo studio di MS2 è stata condotta una campagna di indagine dalla Ditta Gaia Servizi di S. Giuliano Terme, composta da:

- n. 6 prove penetrometriche statiche CPTU;
- n. 2 Indagini sismiche MASW;
- n. 6 indagini sismiche passive ESAC;
- n. 30 indagini sismiche passive HVSR.

Nell'ambito del PSI, sono state effettuate indagini sismiche integrative (MASW e HVSR) per la revisione della carta di Pericolosità sismica, in aggiornamento al DPGR 5r/2020, senza ad ogni modo modificare la Carta delle MOPS di MS livello 1. Tali dati sono stati acquisiti dal presente studio in quanto di qualità conforme. Di seguito si riportano, a confronto, le tabelle riassuntive dei dati geognostici e geofisici dei due livelli di studio, dal quale risulta l'effettivo incremento del quadro conoscitivo che ha permesso la totale revisione dello studio MS1, anche se non vi sono grosse variazioni.



Quant.	Sigla	Descrizione
276	CPT	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica
5	CPTU	Prove penetrometriche statiche con punta conica
10	DL	Prova penetrometrica dinamica leggera
23	DP	Prova penetrometrica dinamica pesante
2	DH	Down Hole
16	MASW	Prospezione sismica MASW
18	HVSR	Microtremore a stazione singola
13	SR	Profilo sismico a rifrazione onde p e s
9	PA	Pozzo per acqua
8	S	Sondaggio a carotaggio continuo
10	SC	Sondaggio con prelievo di campioni
3	T	Trincea o pozzetto esplorativo
<b>383</b>		<b>Totale punti indagati</b>

Tab.3.1 Tabella riassuntiva indagini MS1

Quant.	Sigla	Descrizione
<b>indagini puntuali</b>		
273	CPT	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica
11	CPTU	Prove penetrometriche statiche con punta conica
13	DP	Prova penetrometrica dinamica pesante
8	S	Sondaggio a carotaggio continuo
10	SC	Sondaggio con prelievo di campioni
2	DH	Down Hole
68	HVSR	Microtremore a stazione singola
5	ESAC	Array sismico Esac
22	PA	Pozzo per acqua
<b>indagini lineari</b>		
25	MASW	Prospezione sismica MASW
13	SR	Profilo sismico a rifrazione onde p e s
<b>450</b>		<b>Totale punti indagati</b>

Tab.3.2 Tabella riassuntiva indagini MS2

#### 4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Ai sensi della Classificazione Sismica del Territorio Regionale Toscano – Delib. G.R.T. n° 421 del 26/05/2014, il Comune di Calcinaia è censito tra le aree a sismicità 3 con valori di  $ag/g$  compresi tra 0,100 e 0,125, con l'eccezione di una modesta porzione posta nel settore meridionale del territorio comunale in cui i valori di  $ag$  aumentano e sono compresi tra 0.125 e 0.150  $ag/g$ . L'accelerazione, considerata al suolo su bedrock rigido categoria di sottosuolo "A", si intende quella con la probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a tempi di ritorno di 475 anni. (Fig.4.1).

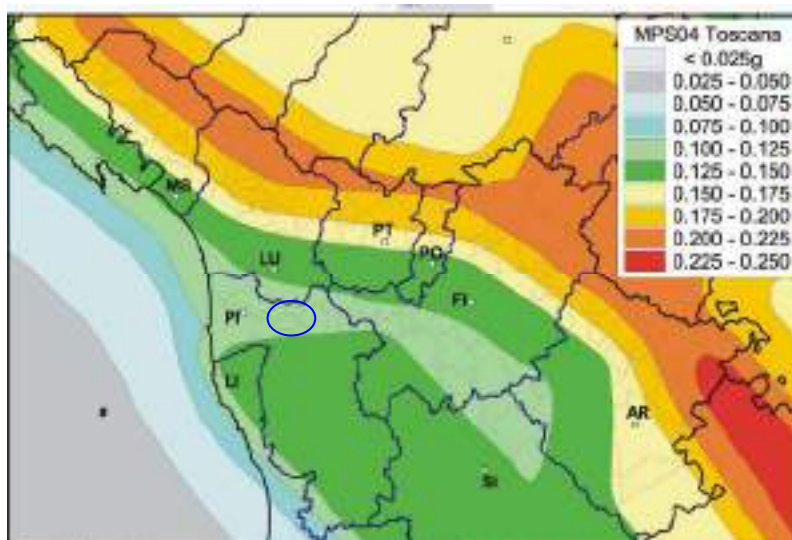


Fig.4.1 Classificazione sismica regionale

La zonazione sismogenetica ZS9 è un modello di sorgente sismica per l'Italia da utilizzare come input per la valutazione probabilistica della pericolosità sismica a livello nazionale (PSHA) nell'ambito della compilazione della mappa di riferimento nazionale. La zonazione è composta da 36 zone in cui sono previsti terremoti con  $M_w \geq 5$  inoltre ogni zona è caratterizzata anche dalla sua profondità sismogenetica media (la profondità del volume crostale che presumibilmente rilascerà terremoti futuri) e dal meccanismo focale predominante (il loro meccanismo di rottura più probabile). Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2004). Zonazione sismogenetica ZS9 [Set di dati]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). (<https://doi.org/10.13127/sh/zs9>).

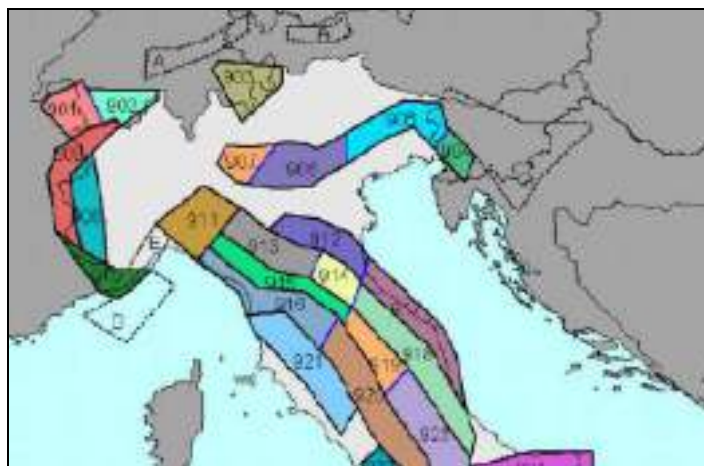


Fig.4.2 Carta della sismicità

Dal punto di vista sismotettonico, l'area appartiene ad una zona caratterizzata da bassa-media sismicità. Considerando la zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro, 2004), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima  $M_{wmax}$ . Il territorio comunale di Calcinaia ricade nella zona 916, alla quale corrisponde una magnitudo massima pari a 6,14, la zona coincide con il settore in distensione tirrenica definito nel modello sismotettonico di Meletti et al. (2000) ed è caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.

L'area sismicamente più attiva è quella riguardante le aree della Garfagnana Lunigiana, che appartengono alla zona 915 con sistemi di faglie legati all'estensione appenninica a differenza della zona 916 e 921 che rappresentano una distensione tirrenica e peritirrenica.

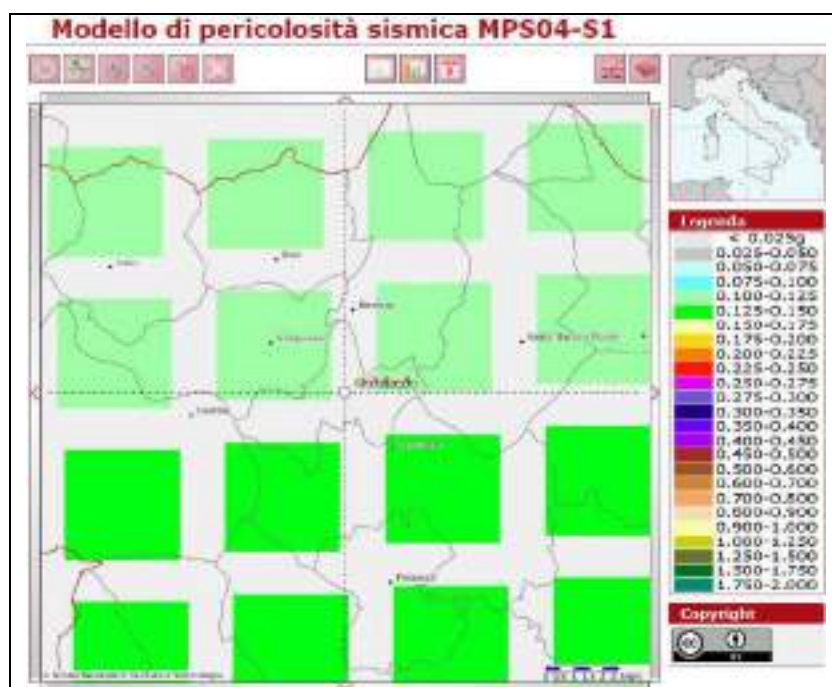


Fig.4.3 Carta della sismicità, parametro di riferimento riferito Tempo di ritorno 475 anni (<https://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Per la valutazione delle sorgenti sismogenetiche è utilizzato il Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Il Database comprende una grande quantità di materiale originale e pubblicato sulle principali fonti sismogenetiche d'Italia insieme a informazioni geografiche, sismologiche, geologiche e tettoniche di fondo. Dal progetto DISS\_3.3 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si nota come le faglie attive e capaci e in particolare le sorgenti sismogenetiche siano ad Sud e NE rispetto ai territori in esame.

Le fonti sismogenetiche individuali (in giallo in Fig.4.4) sono definite da dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da una serie completa di dati geometrici (strike, dip, lunghezza, larghezza e profondità), cinematici (rake), e parametri sismologici (spostamento singolo evento, magnitudo, slip rate, periodo di ritorno). Si assume che le fonti sismogenetiche individuali abbiano una ripetitività strettamente periodica in funzione del rapporto lunghezza/larghezza a rottura, dell'immersione dell'evento e della magnitudo attesa. Esse sono confrontate con i database di tutto il mondo per la coerenza interna, in termini di lunghezza, larghezza, spostamento del singolo evento e magnitudo, e

possono essere aumentati attraverso la scarpata di faglia o asse della piega quando disponibili (di solito caratteristiche strutturali con attività documentata dal Pleistocene superiore - Olocene). Questa categoria ha lo scopo di fornire le informazioni più accurate disponibili tra le migliori sorgenti identificate, ma la completezza delle fonti stesse non può essere garantita. Le fonti sismogenetiche individuali possono quindi essere utilizzate per il calcolo di scenari di terremoto e tsunami e per le indagini tettonico/geodinamiche, ma non hanno lo scopo di comprendere un insieme di dati completo per la valutazione probabilistica della pericolosità sismica. Sempre in Fig.4.4 colorate in arancio, sono rappresentate fonti sismogenetiche composite. Le fonti sismogenetiche composite (aree sismogenetiche) sono basate su dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da parametri geometrici (strike, dip, larghezza, profondità) e cinematici (rake). Una sorgente sismogenetica composta è essenzialmente una struttura dedotta da dati geologici regionali superficiali e profondi. La lunghezza della rottura del terremoto atteso, è comunque poco definita o sconosciuta; quindi una tipica sorgente sismogenetica composta si estende ad un numero imprecisato di sorgenti individuali. Come risultato, fonti di questa categoria non vengono considerate capaci di un terremoto di specifiche dimensioni, ma il loro potenziale sismico può essere stimato dai cataloghi di terremoti esistenti.

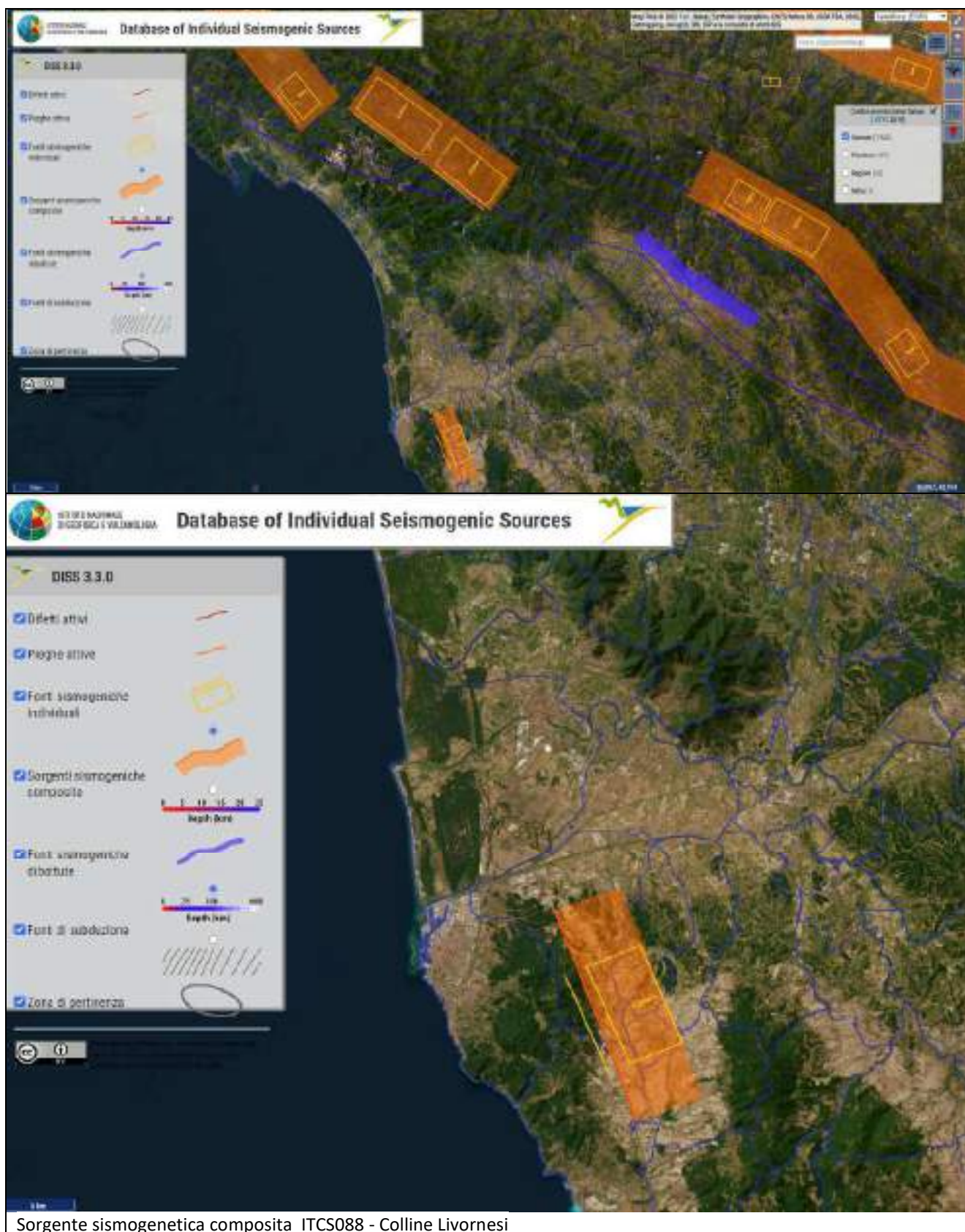


Fig.4.4 Fonti sismogenetiche (progetto DISS\_3.3)

**DISS 3.3.0**

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES

SUBDUCTION SOURCES

WEB MAPPER

CC BY

**COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES**

Information | Commentary | Pictures | References

**GENERAL INFORMATION**

DISS-ID	ITCS088
Name	Livorno Hills
Compiler(s)	Fracassi U.(1)
Contributor(s)	Fracassi U.(1), Vannoli P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	11/05/2010
Updated	11/05/2010
Display map	
Related sources	<a href="#">ITIS066</a>

**PARAMETRIC INFORMATION**

Parameter	Quality	Evidence
Min depth [km]	1.0	EJ Inferred from geological and macroseismic observations.
Max depth [km]	7.0	EJ Inferred from geological and macroseismic observations.
Strike [deg] min... max	330...350	EJ Inferred from geological observations.
Dip [deg] min... max	40...60	EJ Inferred from geological observations.
Rake [deg] min... max	260...280	EJ Inferred from geological observations.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1000...1.0000	EJ Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.2	ER Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgment

Fig.4.5 Scheda fonte sismogenetica colline livornesi (progetto DISS\_3.3)

A differenza delle fonti sismogenetiche individuali, questa categoria di sorgenti è stata concepita per raggiungere la completezza delle registrazioni delle potenziali fonti di terremoto, anche se questo può comportare una precisione minore nella loro descrizione.

E' identificata una faglia diretta sepolta comunque non attiva né capace in base ai dati ufficiali del progetto ITHACA, di età tardo pleistocenica, attribuibile al sistema di faglie distensive a direzione SE-NW chiamato Meloria-Bientina. Tale faglia sepolta borda il settore sud-orientale dei Monti Pisani causando la depressione tettonica compresa tra i monti stessi e il rilievo delle Cerbaie (Cantini ed al., 2000). Alla faglia principale sono probabilmente associate faglie minori, due faglie presunte sono riportate in cartografia. Data l'incertezza sulla localizzazione sono state definite, ai fini dello studio di microzonazione sismica di livello 1, in accordo con gli uffici regionali, come "faglie potenzialmente attive e capaci" (Fig.4.6). Di seguito si riportano i grafici dei terremoti storici scaricati dal catalogo dell'Istituto Nazionale di geofisica (INGV) come risulta dal DataBase Macrosismico Italiano, DBMI15 (<https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15>). Dalla consultazione del catalogo si osserva che non sono stati rilevati forti terremoti (con  $M > 5$ ) con epicentri localizzati nel territorio comunale di Calcinaia e gli epicentri catalogati si collocano essenzialmente in area appenninica.



Fault description	
<b>GENERAL IDENTIFICATION</b>	
Fault Code	01807
Fault Name	Varaggio - Pisa System
Region Name	Toscana
Tectonic Environment	02
System Name	Varaggio - Pisa System
SYNOPSIS	
Rate	Normal
<b>GEOMETRY AND KINEMATICS</b>	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	140
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	SW
Fault Length (km)	10.3
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
<b>ACTIVITY</b>	
Surface Evidence	NO
Last Activity	Early Pleistocene

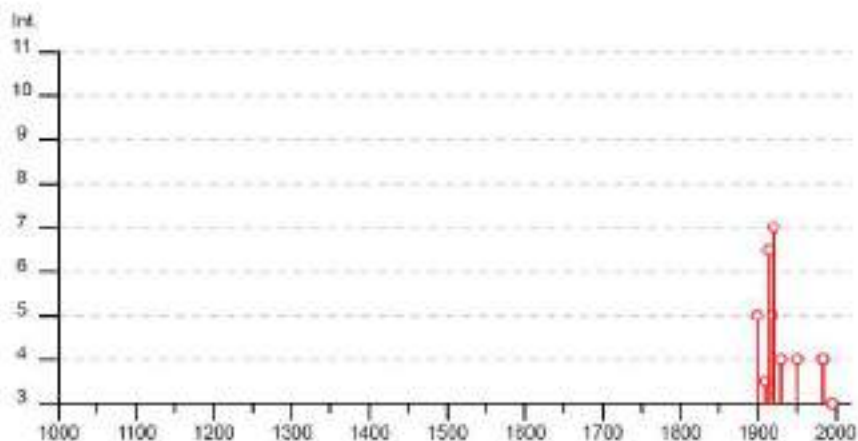


Fault description	
<b>GENERAL IDENTIFICATION</b>	
Fault Code	01906
Fault Name	Varaggio - Pisa System
Region Name	Toscana
Tectonic Environment	02
System Name	Varaggio - Pisa System
SYNOPSIS	
Rate	Normal
<b>GEOMETRY AND KINEMATICS</b>	
Segmentation	Single Segment
Average Strike (°)	140
Dip (°)	Undefined
Dip Direction	SW
Fault Length (km)	27.2
Mapping Scale	1:500000
Fault Depth (m)	
Kinematics	Normal
<b>ACTIVITY</b>	
Surface Evidence	NO
Last Activity	Early Pleistocene

Fig.4.6 Fonti sismogenetiche (progetto DISS\_3.3)

### Calcinai

PlaceID IT\_46098  
 Coordinate (lat, lon) 43.683, 10.616  
 Comune (ISTAT 2015) Calcinai  
 Provincia Pisa  
 Regione Toscana  
 Numero di eventi riportati: 13



### Fornacette

PlaceID IT\_46101  
 Coordinate (lat, lon) 43.669, 10.580  
 Comune (ISTAT 2015) Calcinai  
 Provincia Pisa  
 Regione Toscana  
 Numero di eventi riportati: 3

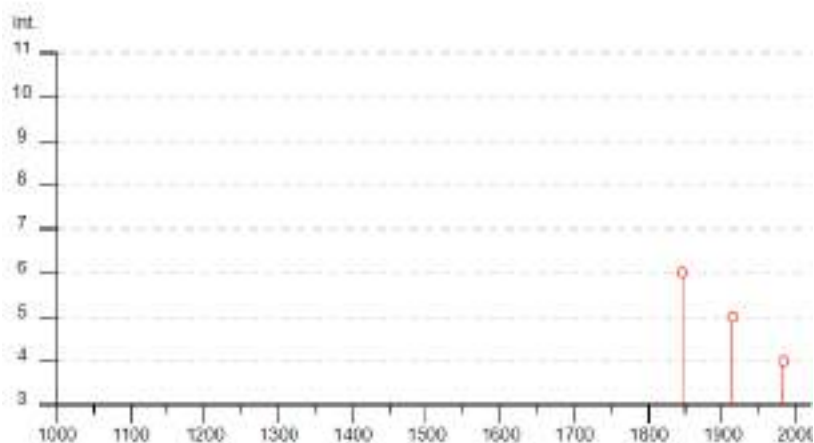


Fig.4.7 Storia sismica di Calcinai come risulta dal DataBase Macrosismico Italiano, DBMI15 (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>)



Effetti	In occasione del terremoto del							NMDF	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
2	1887	11	14	05	48	0	Fiorentino	101	6	4.47
5	1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
3-4	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
6-7	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
8	1918	08	29	15	36	1	Magello	965	10	6.38
7	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4	1930	05	24	22	02		Appennino tosco-emiliano	43	5	4.91
4	1950	04	01				Livornese	15	6	4.99
2	1951	08	12	21	19		Garfagnana	31	5	4.59
4	1963	11	09	16	29	5	Parmaese	850	6-7	5.04
4	1984	04	22	17	36	2	Costa pisano-livornese	39	6	4.61
4	1984	05	01	22	14	2	Costa pisano-livornese	16	5	3.89
3	1995	10	10	06	54	2	tunigiana	341	7	4.82

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDF	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
8	1846	08	14	12			Colline Pisane	121	9	6.04
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
6	1963	11	09	16	29	5	Parmaese	850	6-7	5.04

**Fig.4.8** Lista terremoti storici come risulta dal DataBase Macrosismico Italiano, DBMI15

In epoca storica il sisma più intenso registrato nella Valdera e nell'area pisana è quello del 14 Agosto 1846 che colpì la zona di Orciano Pisano, S. Luce e Lorenzana con intensità massima fino al X° grado della scala Mercalli provocando danni notevoli e numerose vittime. Questo terremoto ebbe i suoi massimi effetti tra le province di Pisa e Livorno dove una quarantina di paesi subirono gravi danni; il più paese più colpito fu Orciano Pisano dove crollarono 99 case su 113; vi furono danni lievi anche nelle città di Pisa, Livorno e Volterra; le vittime in totale furono 60.

Di altri terremoti di intensità minore (V° - VI° grado) si ha notizia tra il Dicembre 1896 ed il Luglio 1897 con epicentro Pontedera. Il 27 Ottobre 1914 un evento avvenuto a forte profondità e con risentimento su un'area molto vasta provocò alcuni danni agli edifici, ma il terremoto più avvertito fu quello del 7 Settembre 1920 dove si produssero delle fenditure in alcune case e l'ospedale Lotti riportò delle lesioni (a Calcinaia si contò un morto e quattro feriti e danni, oltre che ad alcune abitazioni, alla chiesa ed al municipio). Chianni fa registrare un sisma del V° grado nel Luglio 1930 ed uno del VII° grado nel

Novembre 1947, Vicopisano uno del V° grado nel 1930. Scosse ancora più deboli (III° e IV° grado) e con epicentro sempre nei dintorni di Pontedera sono avvenute nel 1934, 1977 e 1978. Non si hanno ulteriori notizie o effetti di particolare rilevanza sul territorio di Pontedera.

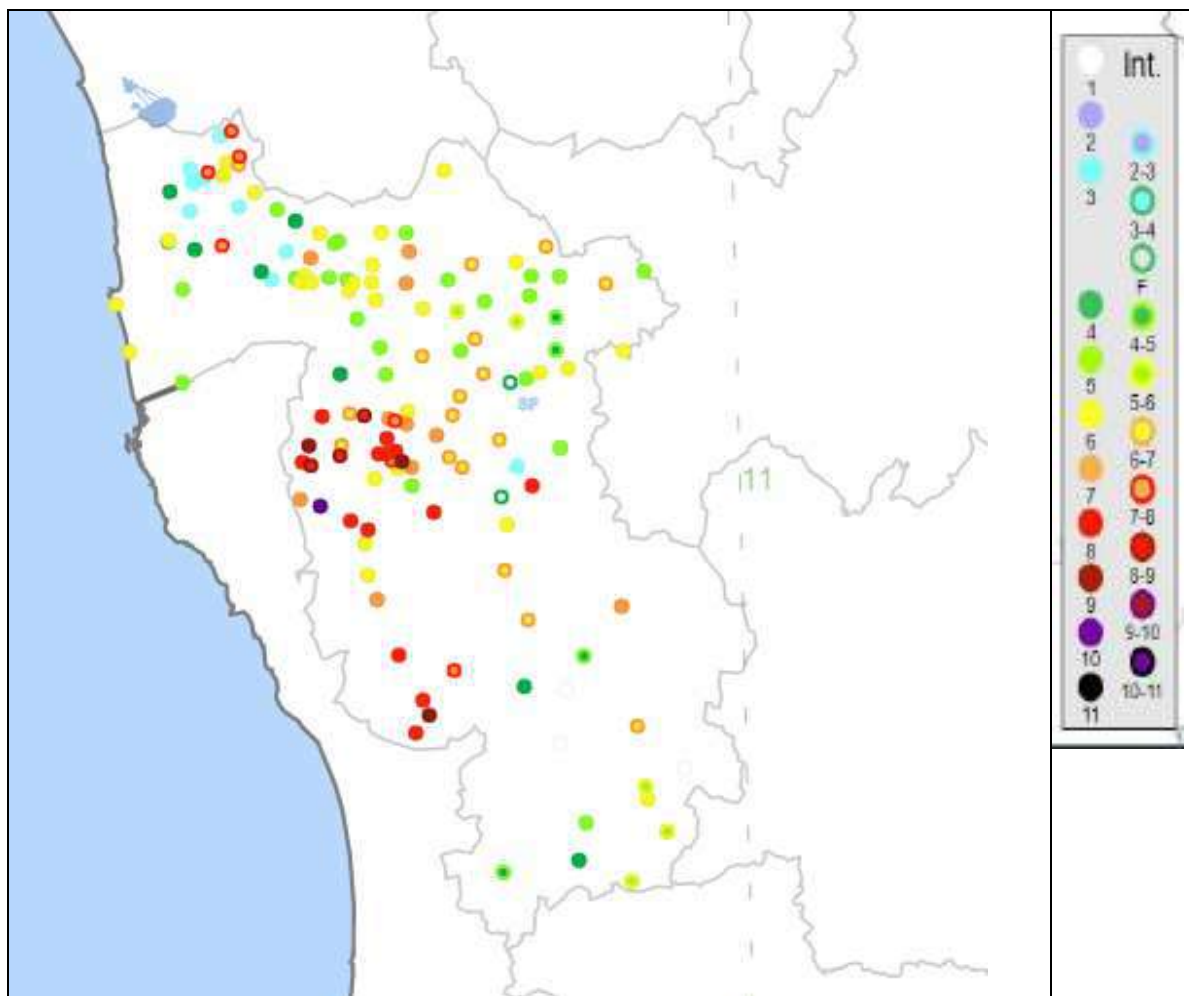


Fig.4.9 Consultazione per terremoto (CPT115)

## 5. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

L'area territoriale in cui s'inserisce il Comune di Calcinaia, occupa l'estremità nord orientale della più vasta pianura pisana. Essa presenta caratteri morfologici che rispecchiano la diversa natura geologica dei terreni affioranti.

I Monti Pisani con forme aspre e scoscese, costituiscono un massiccio carbonatico in brusco contrasto con l'uniformità della pianura, mentre le forme morbide delle colline delle Cerbaie, rivelano la presenza di depositi fluvio lacustri facilmente erodibili che si raccordano dolcemente con la pianura e formano il così detto "Pianalto delle Cerbaie", costituito a livello sommitale da terreni prevalentemente sabbiosi del Pleistocene medio. Il lato occidentale di quest'ultimo rilievo, è inclinato verso la valle di Bientina e rappresenta il limite fisiografico tra la valle suddetta e quella dell'Usciana (Federici 1987). Tra questi due rilievi si estende il breve tratto di pianura formata da depositi fluvio – palustri del sistema Arno – Serchio; questa stretta fascia pianeggiante che nell'ambito territoriale di Calcinaia è localizzata a quote comprese tra 10 – 13 m. s.l.m., in un recente passato è stata percorsa dal F. Serchio, mentre in un periodo più recente, diventò sede (in parte) di un lago. Attualmente ha carattere di valle morta perché non è attraversata da alcun corso d'acqua naturale, ma soltanto dal canale Emissario di Bientina, realizzato per la bonifica dell'omonimo lago o padule, formatosi per gli accumuli alluvionali dell'Arno, definitivamente prosciugato nel 1859 (Federici 1987), grazie alla realizzazione del sistema di canali che drenano le acque verso il canale Emissario ed attraverso "la Botte", di S. Giovanni alla Vena, possono defluire in mare a Calambrone.

L'Arno ha contribuito allo sviluppo di questo tratto della pianura con un percorso tortuoso che ha raggiunto Bientina e Vicopisano.

La pianura di Calcinaia, è formata da sedimenti del Pliocene superiore e quaternari. Sondaggi profondi eseguiti nella pianura, hanno messo in evidenza il substrato profondo sul quale è avvenuto il riempimento sedimentario (Fancelli et al. 1986) si tratta cioè del "tetto" delle successioni litologiche pre – mioceniche che per l'area specifica si trova ad una profondità di oltre 500 metri dal p.c. (calcarei analoghi a quelli affioranti sui Monti Pisani) (Fig.5.1).

All'interno del territorio di Calcinaia è possibile distinguere i seguenti depositi:

### - **Depositi di ambiente continentale riferibili al Rusciniano –Villafranchiano (VIL)**

Nella porzione meridionale dei rilievi delle Cerbaie affiorano depositi di ambiente continentale in particolare fluviali e di piana deltizia (Sarti et al., 2008) che sono riferibili all'intervallo temporale compreso fra il Pliocene ed il Pleistocene Inferiore. In prevalenza sono costituiti da conglomerati ghiaie e sabbie. I fossili sono sporadici. Nella carta geologica sono state distinte le facies prevalentemente sabbiose (VILs) da quelle prevalentemente ghiaiose (VILg).

### - **Depositi di ambiente continentale riferibili all' Aureliano-Galeriano (AUR)**

Questi corpi sedimentari poggiano in discordanza stratigrafica, con contatto visibile solo localmente, sopra le formazioni neogeniche-quaternarie e sono costituiti principalmente da ghiaie in matrice sabbiosa. Le caratteristiche sedimentologiche sono indicative di un ambiente deposizionale di tipo fluviale. Questi depositi affiorano nel settore settentrionale delle Colline Pisane. All'interno di questa

categoria sono stati inseriti sia i depositi di conoide antico, sia i depositi alluvionali terrazzati antichi riferiti da letteratura ad un generico Pleistocene superiore.

Nella carta geologica sono state distinte le facies prevalentemente sabbiose (AURs) da quelle prevalentemente ghiaiose (AURg) e quelle a tessitura mista (AURm). Nel territorio comunale Calcinaia è cartografata come prevalente la facies ghiaiosa (**AURg**).

#### - Depositi continentale recenti e attuali

Sono rappresentati da deposito alluvionali attuale o recente (b1n), in cui sono state distinte le facies argillose (b1a), sabbiose (b1s), limose (b1l) e a tessitura mista (b1m).

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Geologica estratta dal PSI

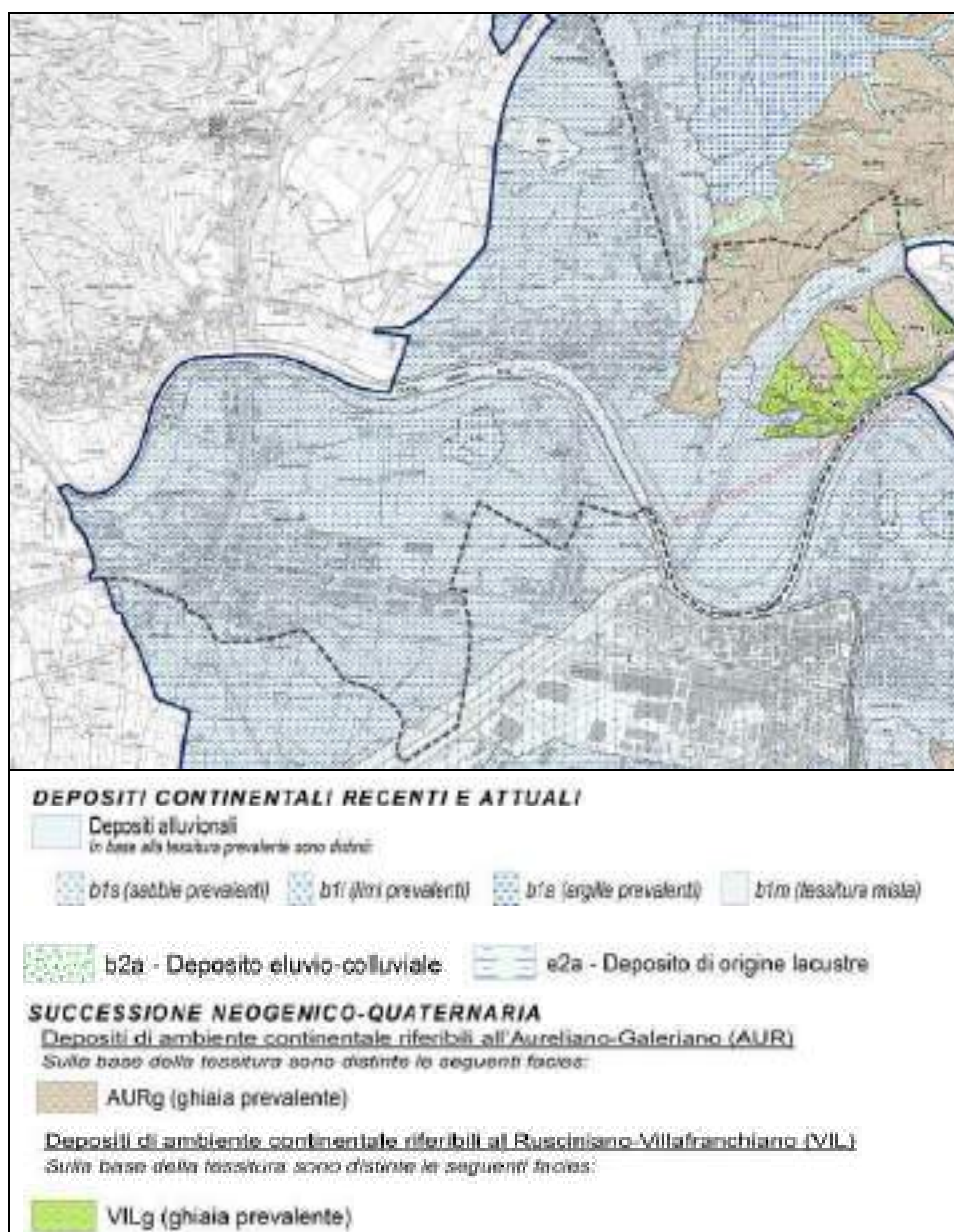
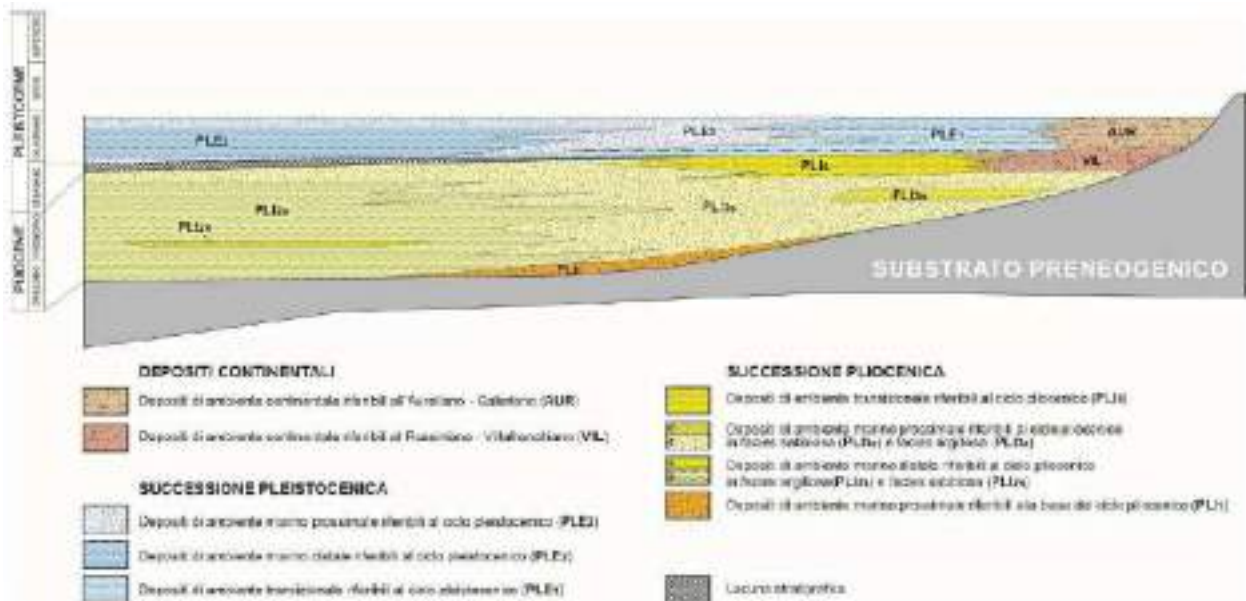


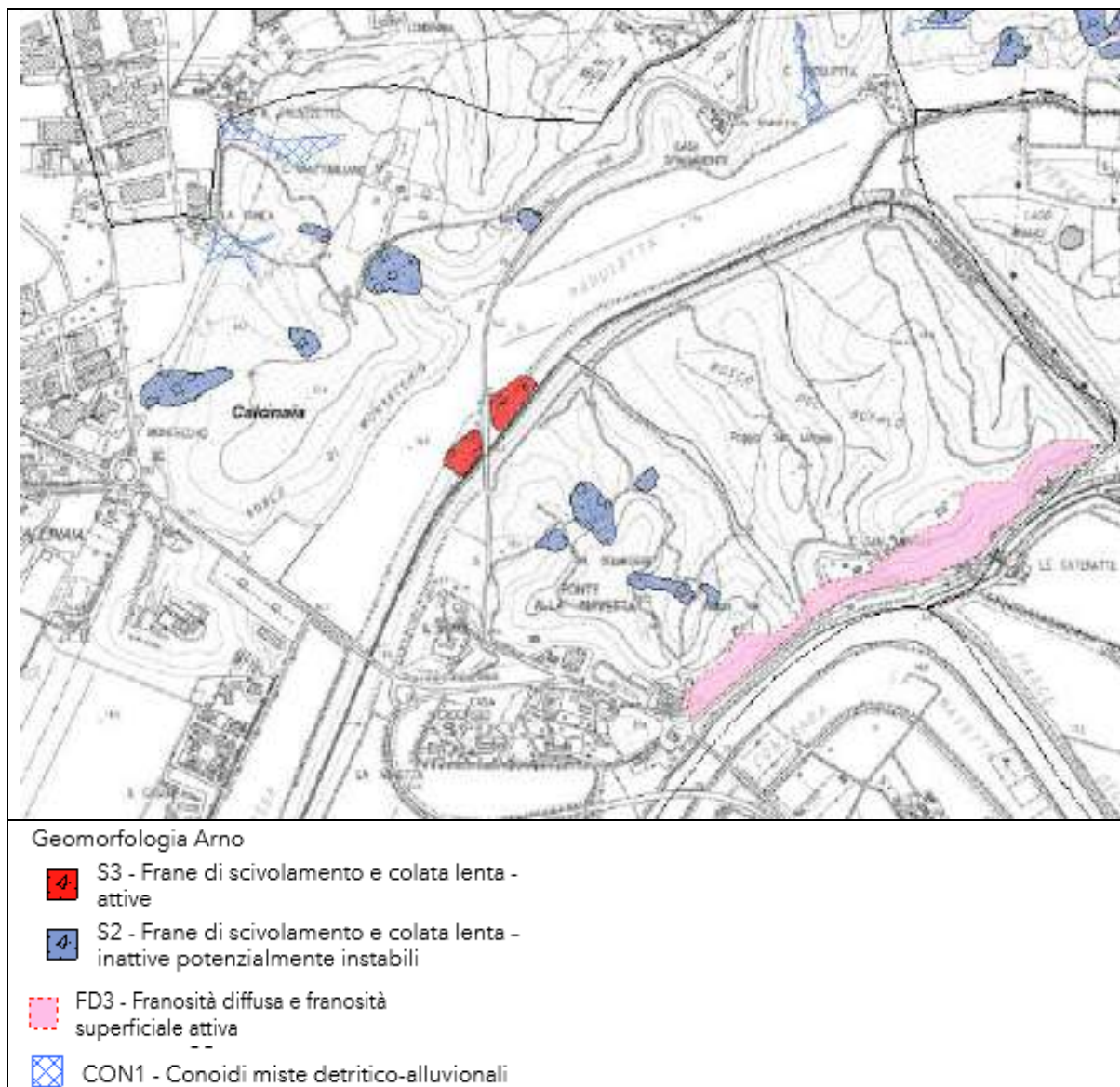
Fig.5.1 Carta Geologica PSI adottata e modificata a seguito osservazioni



**Fig.5.2** Rappresentazione schematica delle successioni stratigrafiche neogenico-quadernarie, (tratta da: *Studio geologico-geomorfologico del PSI, pa.3,1 inquadramento geologico regionale* )

Dal punto di vista geomorfologico, riprendendo la cartografia geomorfologica del Progetto Dissesti Geomorfologici dell’Autorità di Bacino Distrettuale Appennino settentrionale, di cui uno stralcio è riportato Fig.5.3, le aree collinari presentano morfologie caratterizzate da ampie spianate sommitali e scarpate più o meno acclivi, morfologia guidata dall’assetto stratigrafico delle formazioni plio-pleistoceniche e dall’alternarsi di litotipi ghiaiosi e sabbiosi e di livelli di minore spessore a composizione limo-argillosa L’alternanza di litotipi con diversa permeabilità e comunque facilmente erodibili determina forme di dissesto tipo scivolamento/scoscendimento o colata. Dalla cartografia del Piano di bacino i dissesti sono di limitata estensione e classificate come “inattive potenzialmente instabili”.

Si evidenzia come elemento di pericolosità la pendice a monte della S.P. n.5 (Francesca), tra Ponte alla Navetta ed il limite del Comune, caratterizzato da “franosità diffusa e franosità superficiale attiva”. L’area è stata oggetto di interventi di consolidamento superficiale, ma permangono situazioni di elevata propensione al dissesto.



**Fig.5.3** Progetto Dissesti Geomorfologici dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino settentrionale

## 6. CARTA DELLE INDAGINI

La "*Carta delle Indagini*" riporta l'ubicazione e l'indicazione della somma dei dati esistenti sul territorio comunale di Calcinaia derivante dalla somma dei:

- dati di base del quadro conoscitivo del Piano Strutturale;
- dati geofisici condotti per lo studio MS1 (Allegato 1);
- dati geofisici integrativi effettuate a supporto del PSI;
- dati relativi all' indagini nel sottosuolo – pozzi con stratigrafia – estratti dal portale ISPRA;
- dati derivanti dalla campagna di indagine geognostica e geofisica condotta per lo studio di MS2 (Allegato 2).

I dati di base derivanti dalla MS1, sono stati oggetto di una scrematura, omettendo di riportare in questa fase i punti indagine relativi alle penetrometrie dinamiche leggere (DL) e le trincee e pozzetti esplorativi (T) ritenuti non utili alla definizione della Microzonazione Simica di Livello 2.

L'integrazione dei dati noti con la campagna geognostica e geofisica effettuata in questa fase di lavoro e l'inserimento di nuove stratigrafie desunte dai pozzi estratti dal portale ISPRA, ha comportato la necessità di un aggiornamento della Carta delle indagini, oltre alla revisionare sia le sezioni geologico-tecniche che la carta delle MOPS eseguite nell'ambito della Microzonazione di livello 1.

La campagna geognostica e geofisica realizzata dalla Ditta Gaia Servizi di S. Giuliano Terme, composta da:

- n. 6 prove penetrometriche statiche CPTU;
- n. 2 Indagini sismiche MASW;
- n. 6 indagini sismiche passive ESAC;
- n. 30 indagini sismiche passive HVSR.

L'insieme dei dati raccolti, ha permesso di disporre di un totale di 450 tra dati puntuali e lineari così suddivisi e rappresentati, in forma simbolica e per tipologia, secondo la legenda prevista negli standard regionali per l'informatizzazione degli studi di MS con riferimento agli Indirizzi e Criteri di Microzonazione sismica (ICMS) a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile e catalogati e archiviati mediante software QGis.

Quant.	Sigla	Descrizione
<b>indagini puntuali</b>		
273	CPT	Prove penetrometriche statiche con punta meccanica
11	CPTU	Prove penetrometriche statiche con punta conica
13	DP	Prova penetrometrica dinamica pesante
8	S	Sondaggio a carotaggio continuo
10	SC	Sondaggio con prelievo di campioni
2	DH	Down Hole
68	HVSR	Microtremore a stazione singola
5	ESAC	Array sismico Esac
22	PA	Pozzo per acqua
<b>indagini lineari</b>		
25	MASW	Prospezione sismica MASW
13	SR	Profilo sismico a rifrazione onde p e s
<b>450</b>		<b>Totale punti indagati</b>

**Tab.6.1** Tabella riassuntiva indagini

La Carta delle indagini è stata prodotta nel rispetto delle direttive degli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica – v.4.2 - Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica” e tutti i dati di base sono stati informatizzati attraverso l’archiviazione dei dati con il software “SoftMS v.4.2” predisposto dalla Protezione Civile.

La lettura delle carta è possibile soltanto in sinergia con la lettura del database, formato .mdb, che permette di collegare l’identificativo del punto in carta (codice “ID\_SPU”) o del tracciato (codice “ID\_SLN”) con i pdf dei report delle indagini. Le tabelle relative alle schede del Database riportano per ogni punto indagine identificato da un univoco IDSPU, la provenienza di ciascun dato (MS1, PSI, ISPRA) e relativa la numerazione originaria.

Per una rapida consultazione, in Appendice 2si riporta la tabella di correlazione dei codici, per ricondurre i punti indagine inseriti in Soft\_MS ai corrispondenti dati di base delle campagne originarie, distinte per indagini lineari e puntuali.



## 7. CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI

Nella Carta sono riportati i risultati della campagna di misure di microtremore a stazione singola HVSR, comunemente nota con il termine H/V condotte secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria sismica 2/11 per la misura delle frequenze fondamentali dei depositi che costituiscono la copertura della pianura alluvionale.

Per una dettagliata trattazione e valutazione della procedura di acquisizione ed elaborazione e quindi della qualità del dato, si rimanda all'Allegato "Dati Campagna Geofisica".

I dati di esplorazione sono costituiti da:

- n. 15 misure passive eseguite ad hoc per lo studio di MS1;
- n.3 misure passive ricavate dall'archivio comunale, elaborate secondo i criteri SESAME, acquisite mediante Tromino (dati di base del PS);
- n. 20 misure passive eseguite ad hoc per il PSI;
- n. 30 misure passive eseguite ad hoc per lo studio di MS2.

La rappresentazione grafica della carta è quella indicata in Appendice 3 dell'Allegato A delle *Specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di micro zonazione sismica (aggiornamento 02/10/2018)* che prevede per ogni misura cerchi con colore variabile secondo la frequenza del picco e con raggio variabile in funzione dell'ampiezza  $A_0$ .

I risultati ottenuti sono riassunti nella sottostante tabella.

ID_ SPU	Località	A1 HVSR	F1 (Hz)	A2 HVSR	F2 (Hz)
296	Fornacette W	4,80	0,60		
314	Fornacette	3,10	1,10		
315	Fornacette	3,10	1,20		
323	Case Sardina	1,80	1,20		
324	Case Sardina	2,30	1,40		
325	Case Sardina	3,10	1,90		
326	zona collinare Le Cerbaie	2,90	2,40		
327	Case Sardina	2,40	2,30		
328	Calcinaia	2,40	2,60		
329	Calcinaia	2,90	1,70		
330	Calcinaia	2,40	1,90		
331	Oltrarno	2,80	1,50		
332	Oltrarno	2,70	1,30		
333	La Botte	3,00	1,50		
334	Fornacette N	2,50	1,30		
335	Fornacette	2,10	1,30		
336	Fornacette	1,80	1,70		
337	La Botte	2,20	1,40		
338	Case Sardina	3,80	1,28		
339	Case Sardina	3,30	1,19		
340	Case Sardina	4,20	1,47	2,60	0,50
341	Calcinaia	2,80	0,44	2,70	1,20
342	Calcinaia	3,70	0,41	2,60	1,80
343	Calcinaia	3,90	2,03	2,80	0,40
344	Calcinaia	3,60	1,78	3,20	0,40
345	Ponte alla Navetta SP 5	4,00	0,41	2,10	1,80
346	La Botte	5,20	0,94		
347	Case Bianche	3,90	0,72		

348	Oltrarno	3,20	0,35	2,20	1,20
349	Oltrarno	3,90	1,16	3,30	0,35
350	Fornacette W	4,20	0,63		
351	Fornacette N	3,70	0,50		
352	Fornacette E	3,60	1,19		
353	Fornacette S	4,00	0,50	3,30	1,20
354	Fornacette SE	4,00	0,47	3,80	1,20
355	Fornacette E	4,10	1,19	3,30	0,40
356	Case Sardina	3,50	1,16		
363	Ponte alla Navetta	2,41	5,04	4.2	0,35
364	zona collinare Le Cerbaie	2,62	2,42	4.3	0,35
365	Calcinaia	2,96	2,05	3,70	0,32
366	Calcinaia	5,86	0,40	2,90	1,90
367	Case Sardina	5,24	1,12	5.8	0,38
368	Case Sardina	7,29	0,53	3,90	1,00
369	Case Sardina	6,45	0,53	3,90	1,20
370	Calcinaia Lago del Marrucco	7,27	0,46	3,90	0,95
371	Oltrarno	5,01	0,37	2,80	1,40
372	Fornacette W	11,70	0,30		
373	La Botte	7,83	0,81	4.5	0.45
374	Case Bianche	3,98	1,15		
375	Case Bianche	5,80	0,70		
376	Oltrarno	3,72	1,81	5,00	0,32
377	San Benedetto Zona scolmatore Arno	5,50	1,54	6,50	0,35
378	Fornacette S	7,20	0,44	3,10	1,30
379	Calcinaia	3,05	3,20	6,00	0,30
380	Ponte alla Navetta	3,91	1,04	4,10	0,40
381	Ponte alla Navetta Loc. La Sassa	3,60	1,06	4,50	0,32
382	Ponte alla Navetta SP 5	4,76	0,44	2,20	2,20
383	Fornacette E	4,51	1,08	5,00	0,35
384	Fornacette E	5,45	0,39	3,60	1,20
385	Fornacette E loc Borselli	3,51	1,43	5,80	0,38
386	Fornacette E	3,76	1,26	5,20	0,38
387	zona collinare Le Cerbaie	3,43	2,42	5,10	0,35
388	zona collinare Le Cerbaie	5,38	0,35	3,20	2,80
389	Fornacette E	4,39	1,17	6,00	0,38
390	Paduletta scolmatore Arno	5,26	1,59	6,30	0,35
391	zona collinare Le Cerbaie	3,11	2,31	5,20	0,35
392	Ponte alla Navetta	5,19	0,44	3,00	12,00
412	Ponte alla Navetta	3,06	1,09		

**Tab.7.1.** Risultanze misure di microtremore a stazione singola HVSR

Lo scopo è quello di indagare la possibile presenza di zone con fenomeni di risonanza significativi e quelle con importanti contrasti di impedenza. Inoltre, le misure in numero sufficiente possono fornire indicazioni o conferme sulla ricostruzione del modello geologico del sottosuolo, mediante la nota formula di correlazione  $f_r = V_s/4H$ , anche se in una pianura vasta con terreni di copertura eterogenei con  $V_s$  variabili, bisogna riconoscerne che le correlazioni non sono del tutto scontate, anche per la presenza di inversioni di velocità  $V_S$  all'interno della copertura. L'interpretazione delle misure deve ovviamente essere sempre tarata su indagini dirette.

Questa correlazione ha consentito, tramite l'utilizzo delle  $V_s$  ricavate dalle indagini MASW e dalle prospezioni a rifrazione con onde P e SH eseguite in prossimità della misura passiva di rumore, ha permesso di valutare la profondità del livello che genera risonanza e di confrontarlo con i dati geo-

gnostici raccolti (sondaggi, CPTU).

Dall'esame della carta delle frequenze ricavata, si evince quasi sempre la presenza di due range di frequenze <1Hz e 1.0-1.5Hz, entrambe con ampiezze che possono essere superiori a 3. Fa eccezione la zona est del territorio comunale in cui prevalgono le misure con un unico picco con frequenze in genere inferiori a 1 Hz.

E' possibile riconoscere i seguenti elementi coerenti con il modello geologico-tecnico del territorio:

- Le frequenze di picco 0,2-0,4 Hz riconosciuto in maniera quasi uniforme sul territorio comunale, possono essere ricondotte al substrato rigido, profondo alcune centinaia di metri riconducibile ai litotipi calcarei o comunque a un substrato geologico affiorante nelle colline circostanti.
- Le frequenze maggiori di 1.0 Hz sono legate all'alto contrasto di impedenza sismica tra i depositi superficiali limoso-sabbiosi-argillosi e il livello granulare-ghiaioso superficiale dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina che si estende con continuità nell'area alla profondità di circa 30-50m dal p.c.. Laddove la copertura superficiale è caratterizzata da elevati spessori di depositi argillosi e/o sabbiosi sciolti, contraddistinti da bassi valori di Vs (indicativamente inferiori a 200/220 ms) le misure di rumore individuano picchi con ampiezza superiore 3. Le ampiezze dei picchi si riducono laddove la composizione delle coperture presenta un maggior contenuto in sabbia, con valori di Vs più elevati.
- L'area collinare delle Cerbaie e quella pedecollinari presentano misure con picchi di frequenza, compresi tra circa 1.5 e 3.2 Hz riferibile al contrasto tra i terreni di copertura superficiale e un substrato geologico granulare cementato stratificato (GRS) e/o coesivo sovraconsolidato (CO) delle formazioni delle Cerbaie (Depositati di ambiente continentale Plio-Pleistocenici ghiaioso-sabbiosi). Le misure hanno in quasi tutti i casi individuato anche un secondo picco con frequenza di 0.3-0.5 Hz riferibili ad un substrato sismico più profondo.
- Le misure ricadenti nel settore di territorio compreso tra la zona est di Fornacette e il F. Arno sono contraddistinte da un unico picco di frequenza di 0.6-0.9 Hz e con ampiezza in genere inferiore a 3. Le  $V_{S30}$  in questa zona presentano valori in genere superiori a 220 m/s; la stratigrafia media di tale zona individua la presenza di uno spessore di almeno 20 m rappresentato da limi sabbiosi e sabbie. In questo caso il picco è riferibile ad un contrasto di impedenza sismica localizzato oltre diverse decine di metri e riferibile ad un substrato geologico sovra consolidato. In tale settore di territorio è presente una misura che si discosta dalle circostanti, posta in prossimità dell'ansa del F. Arno, contraddistinta da un picco con frequenza di 1.5 Hz ed ampiezza di 3; essa è riconducibile al contrasto di un substrato sismico riferibile ai depositi ghiaiosi dell'Arno e del Serchio sottostanti una copertura a bassa velocità sismica.
- Le frequenze di 1-1,3 Hz sono legate all'alto contrasto di impedenza sismica tra il livello granulare-ghiaioso superficiale dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina che si estende con continuità nell'area alla profondità di circa 30-50m dal p.c.. Le frequenze collimano con la stratigrafia conosciuta., al di sotto di una copertura superficiale caratterizzata da velocità delle Vs per ampie zone <220/s.

## 8. CARTA GEOLOGICO-TECNICA (CGT\_MS)

La descrizione della carta geologico-tecnica è stata adeguata al nuovo standard di rappresentazione e archiviazione. Le carte geologico tecniche sono state redatte per ogni area investigata e rappresentano, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.2), l'elaborato di compendio di tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) necessarie alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS).

Le unità geologico-litologiche vengono distinte tra terreni di copertura, con spessore minimo di 3,0 m, e substrato geologico rigido o non rigido, per giungere ad una standardizzazione delle informazioni relative agli aspetti geologici e litotecnici.

La suddivisione dei litotipi in classi predefinite permette, così, di identificare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità.

### 8.1. Terreni di Copertura

Le tipologie dei terreni di copertura in base alle caratteristiche litologiche e i relativi codici corrispondenti vengono descritti utilizzando l'Unified Soil Classification System (ASTM, 1985, modificato) come di seguito presentato:






Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche

Fig.8.1. Legenda CGT\_MS per terreni di copertura, Standard di rappresentazione ver.4.2

In aggiunta per i terreni di copertura vengono riportati i codici relativi agli ambienti di possibile genesi e deposizione dei terreni di copertura che, sulla base delle conoscenze geologiche del PSI sui depositi del Pliocene sup-Pleistocene nel territorio in esame sono di:

- ambiente di versante;
- ambiente fluvio-lacustre.

<b>Ambiente di versante</b>	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
<b>Ambiente fluvio - lacustre</b>	
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	dl
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Varve	va
Lacustre	lc
Palustre	pa
Piana inondabile	pi

**Fig.8.2** Legenda CGT\_MS per i terreni di copertura

Di seguito la tabella di correlazione dei litotipi della carta Litotecnica del PSI e della carta CGT\_MS:

UNITA_ LIT	DESC_UL	CLASSE_L IT	DESCR_CL	TIPO_ LIT	DESC_TL	CGT_MS	Codice
E	Materiali granulari non cementati o poco cementati	E2	Ghiaie non cementate o poco cementate	E2 a1-2	Ghiaie da addensate a moderatamente addensate	GC	tf
E	Materiali granulari non cementati o poco cementati	E2	Ghiaie non cementate o poco cementate	E2 a3-4	Ghiaie da poco addensate a sciolte	GC	tf ec cd
E	Materiali granulari non cementati o poco cementati	E3	Sabbie non cementate o poco cementate	E3 a3-4	Sabbie da poco addensate a sciolte	SM	tf pi zz
F	Materiali con consistenza limitata o nulla	F1	Limi con consistenza limitata o nulla	F1 s5-6	Limi da poco consistenti a privi di consistenza	ML	pi
F	Materiali con consistenza limitata o nulla	F2	Argille con consistenza limitata o nulla	F2 s5-6	Argille da poco consistenti a prive di consistenza	ML	pi

**Tab.8.1** Tabella di correlazione litotipi copertura del PSI

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie "unità geologico-tecniche" individuate con il dettaglio delle varie formazioni geologiche della carte geologica del PSI che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere:

- Unità geologico-tecnica **Gctf**: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie ambiente deposizionale continentale fluvio-lacustre di

tipo terrazzo fluviale attribuito alle formazioni plio-pleistoceniche (AURg, VIlg).

- Unità geologico-tecnica **GCec**: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie di ambiente deposizionale di falda detritica tipo eluvio colluviale derivante dal disfacimento delle formazioni plio-pleistoceniche (b2a) e alcuni corpi di frana quiescente.
- Unità geologico-tecnica **GCcd**: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie di ambiente deposizionale di falda detritica tipo eluvio colluviale derivante dal disfacimento delle formazioni plio-pleistoceniche (b2a) e alcuni corpi di frana quiescente che, sulla base della morfologia e dislivello locale assumono la conformazione e assetto geomorfologico di tipo conoide detritica, anche secondo quanto riportato dalla carta dei dissesti geomorfologici del Piano di bacino.
- Unità geologico-tecnica **GCpi**: si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie di ambiente deposizionale di piana inondabile, riferiti a quanto cartografato lungo il corso del F.Arno (b).
- Unità geologico-tecnica **SMtf**: si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico fluvio-lacustre di terrazzo fluviale attribuito alle formazioni i sabbiose del Pliocene sup Pleistocene inf (VILs).
- Unità geologico-tecnica **SMpi**: si tratta di terreni costituiti prevalentemente da sabbie da poco addensate a sciolti corrispondenti all'alveo recente del F.Arno, ai paleoalvei recenti e alla valle laterale della Paduletta, dove corre lo Scolmatore Arno (b1s, b1m).
- Unità geologico-tecnica **MLpi**: si tratta di terreni costituiti prevalentemente da limi da poco consistenti a privi di consistenza e in parte argillosi, della vasta piana inondabile del F.Arno e di Bientina (b1l, b1,e4a,e2a).









Terreni di copertura	
	<b>GCcd</b> – Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla – ambiente di versante: conoide detritica
	<b>GCec</b> – Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla – ambiente di versante: eluvi-colluvi
	<b>GCtf</b> – Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla – ambiente fluvio-lacustre: terrazzo fluviale
	<b>GCpi</b> – Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla – ambiente fluvio-lacustre: piana inondabile
	<b>SMec</b> – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo – ambiente di versante: eluvi-colluvi
	<b>SMtf</b> – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo – ambiente fluvio-lacustre: terrazzo fluviale
	<b>SMpi</b> – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo – ambiente fluvio-lacustre: piana inondabile
	<b>MLpi</b> – Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità – ambiente fluvio-lacustre: piana inondabile

Fig.8.3 Legenda della CGT

In considerazione della copertura detritica superficiale e delle velocità sismiche Vs risultanti dalla campagna di indagini geofisiche eseguite nella zona collinare, le formazioni del plio-pleistoceniche sono state classificate come copertura nella CGT\_MS.

## 8.2. Substrato geologico

Le unità del substrato rigido o non rigido vengono definite tenendo conto della tipologia (lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi), della stratificazione (qualora

esistente) e del grado di fratturazione (secondo una valutazione qualitativa) secondo la seguente legenda:

Substrato geologico		
LP	LP	Lapidee
GR	GR	Granulare cementato
CO	CO	Coesivo sovraconsolidato
AL	AL	Albernanza di litotipi
LPS	LPS	Lapidee, stratificate
GRS	GRS	Granulare cementato, stratificato
COG	COG	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
ALS	ALS	Albernanza di litotipi, stratificato
SFLP	SFLP	Lapidee fratturato / alterato
SFGR	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
SFCO	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
SFAL	SFAL	Albernanza di litotipi fratturato / alterato
SFLPS	SFLPS	Lapidee, stratificato fratturato / alterato
SFGRS	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
SFCOG	SFCOG	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
SFALS	SFALS	Albernanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

Fig.8.4 Legenda CGT\_MS per substrato geologico, Standard di rappresentazione ver.4.2

Come descritto nel paragrafo 5, non è presente un substrato geologico affiorante o subaffiorante nel territorio comunale, i rilievi collinari delle Cerbaie, hanno le caratteristiche di terreni di copertura. Un substrato geologico tipo CO è riportato nelle sezioni geologiche sulla base delle stratigrafie disponibili di alcuni pozzi profondi confortati dalle prove geofisiche dei picchi di amplificazione. L'attribuzione alla tipologia coesiva si basa comunque su una descrizione molto sommaria quale la perforazione di un pozzo a distruzione di nucleo, con incertezze sull'attribuzione stratigrafica formazionale (formazione delle Argille Azzurre?).

- Unità geologico-tecnica **CO**: substrato geologico di tipo coesivo sovraconsolidato

### 8.3. Modello di sottosuolo

Come premesso, si è proceduto alla revisione delle sezioni litotecniche e, successivamente, della carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e delle relative colonnine stratigrafiche.

Nel complesso il modello geologico s.l. dello studio MS1 è risultato corretto. Non vi sono importanti modifiche sul modello di sottosuolo, mancando dati di sondaggi profondi. Le maggiori profondità sono raggiunte da stratigrafie di pozzi ISPRA, con le incertezze legate alla descrizione dei litotipi, ciò ha comunque permesso di implementare il modello sul lato W (Sez.3).

Il maggior numero di dati superficiali, geotecnici e geofisici, dei quali molti intersecanti le sezioni, hanno permesso un maggiore dettaglio nella definizione del livello dell'orizzonte ghiaioso delle "Ghiaie e conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina" (GC).

I dati geofisici hanno consentito un maggiore dettaglio nella definizione dei litostrati, nel definire la profondità del substrato ghiaioso, grazie anche ai picchi di amplificazione generati, mediante l'utilizzo delle numerose misure HVSR, con la formula di correlazione  $f = V_s/4H$  dove  $V_s$  è il valore della  $V_s$  e  $H$ , conoscendo il valore delle  $V_{s30}$  determinato con MASW/ESAC.

Il sismostrato dei depositi incoerenti è presente in maniera estesa sul territorio comunale, il variare, anche di poco, della profondità del tetto, unitamente al variare delle velocità sismiche ( $V_s$ ) dei depositi limo-sabbiosi o limo-argillosi soprastanti può determinare o meno picchi di amplificazione sismica negli intervalli di interesse ingegneristico.

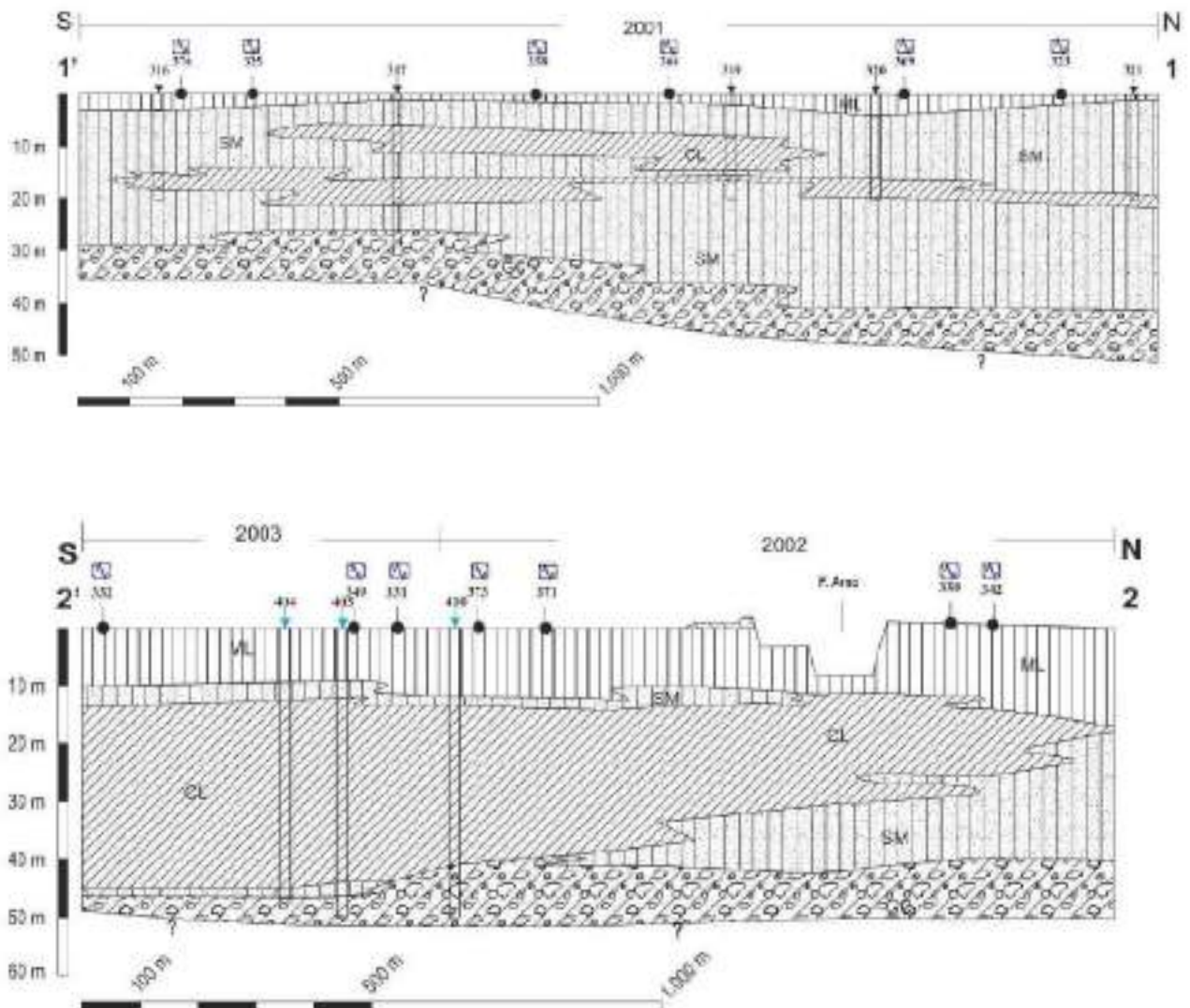


Fig.8.5 Sezioni -NS pianura territorio (Sardina-Oltrarno)



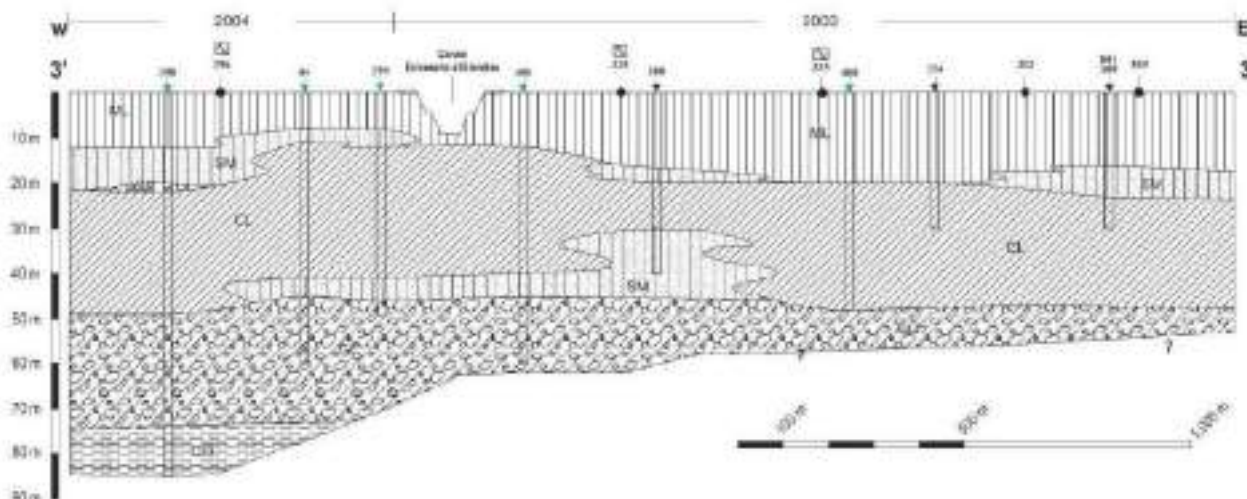


Fig.8.6 Sezione E-W pianura territorio comune (Fornacette)

Legenda terreni di copertura

- Terreni contenenti resti di attività antropica (RI)
- Ghiaie argillose, miscela di ghiaie, sabbie e argilla (GC)
- Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SM)
- Limi inorganici, farine di rocce, Sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di basso plasticità (ML)
- Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, Argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CL)

Legenda substrato geologico

- Substrato geologico coesivo sovraconsolidati (CO)

Legenda indagini

- Sondaggio a carotaggio continuo
- Pozzo a stratigrafia nota
- Indagine HVSR

Fig.8.7 Legenda sezioni

Per quanto riguarda la zona collinare delle Cerbaie, le poche indagini geognostiche disponibili non consentono la realizzazione di nuove sezioni, in quanto la zona di raccordo con il fondovalle è carente di dati geognostici e stratigrafici. Incertezze sul modello derivano inoltre derivano dalla scarsità di dati nelle aree esterne al territorio urbanizzato.

## 9. CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica costituisce il documento fondamentale del primo livello di approfondimento. La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e delle valutazioni dei dati litostratigrafici è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc).

L'integrazione dei dati noti con la campagna geognostica e geofisica effettuata in questa fase di lavoro e l'inserimento di nuove stratigrafie desunte dai pozzi estratti dal portale ISPRA, ha comportato la necessità, in adempimento alle Specifiche tecniche regionali, di revisionare sia le sezioni geologico-tecniche che la carta delle MOPS eseguite nell'ambito della Microzonazione di livello 1.

In particolare, come descritto nei paragrafi precedenti, i nuovi dati geotecnici e idrogeologici hanno permesso di affinare le conoscenze stratigrafiche per i terreni di copertura e talvolta individuare la profondità dell'orizzonte ghiaioso. I dati geofisici hanno consentito di verificare la profondità dell'orizzonte contraddistinto da un brusco incremento delle velocità sismiche o da un contrasto di impedenza sismica che come detto nel paragrafo precedente è stato attribuito, a seconda dei casi, ai depositi ghiaiosi o al substrato consolidato o cementato.

Con la revisione della carta, la carta delle MOPS è stata estesa all'intero territorio comunale, in virtù anche della specifica richiesta dell'ufficio del settore sismica della Regione Toscana. La carta è stata elaborata secondo gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica redatti dalla Commissione tecnica per la micro zonazione sismica (versione 4.2 del dicembre 2020), che prevede la distinzione del territorio esaminato in:

Zone Stabili: zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;

Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica: zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;

Zone suscettibili di instabilità: zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali).

### 9.1. Zone Stabili

Le caratteristiche litologiche e morfologiche del territorio comunale di Calcinaia hanno escluso la presenza di Zone stabili non essendo presenti aree con affioramento di substrato sismico con morfologia pianeggiante o poco inclinata.

### 9.2. Zone Stabili suscettibili di amplificazioni locali per amplificazione stratigrafica

L'analisi delle indagini disponibili, ha permesso di definire 5 microzone nelle aree di pianura e 2 microzone per l'area collinare delle Cerbaie.

Per quanto riguarda l'area di pianura la suddivisione nelle diverse zone ha in linea di massima confermato le perimetrazioni eseguite nell'ambito della microzonazione di livello 1, andando a definire con maggior dettaglio le stratigrafie tipo per ciascuna zona e modificando localmente i perimetri, sulla base del raggruppamento delle frequenze delle numerose HVSR disponibili e in base alla definizione della tipologia delle coperture emerse dalle CPTU eseguite. La revisione ha interessato essenzialmente la parte a nord dell'Arno. Sono state inoltre accorpate alcune microzone differenziate solo per la presenza di materiale molto superficiale che poco influisce sulla stratigrafia d'insieme (Fig.9.2).

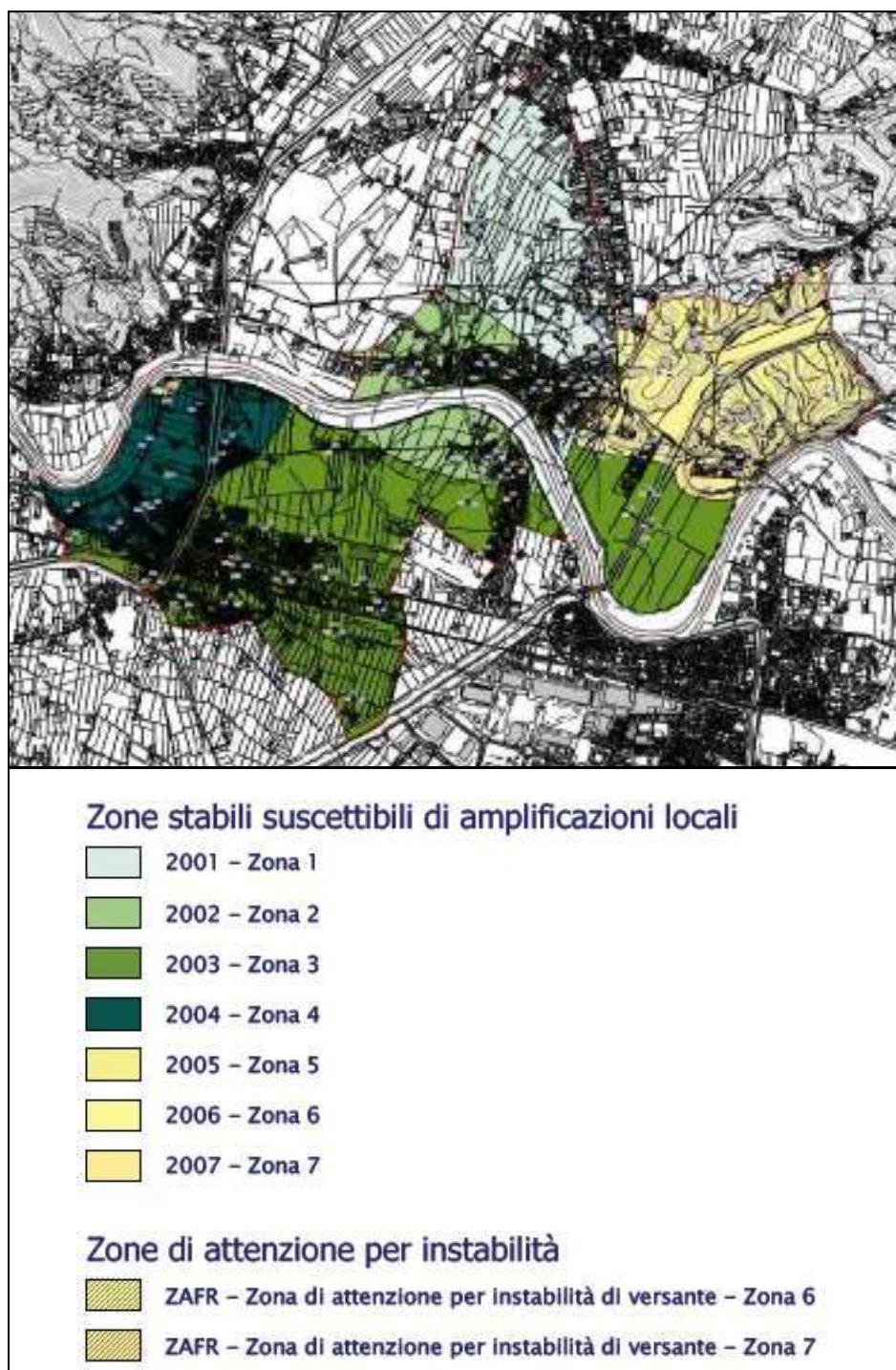
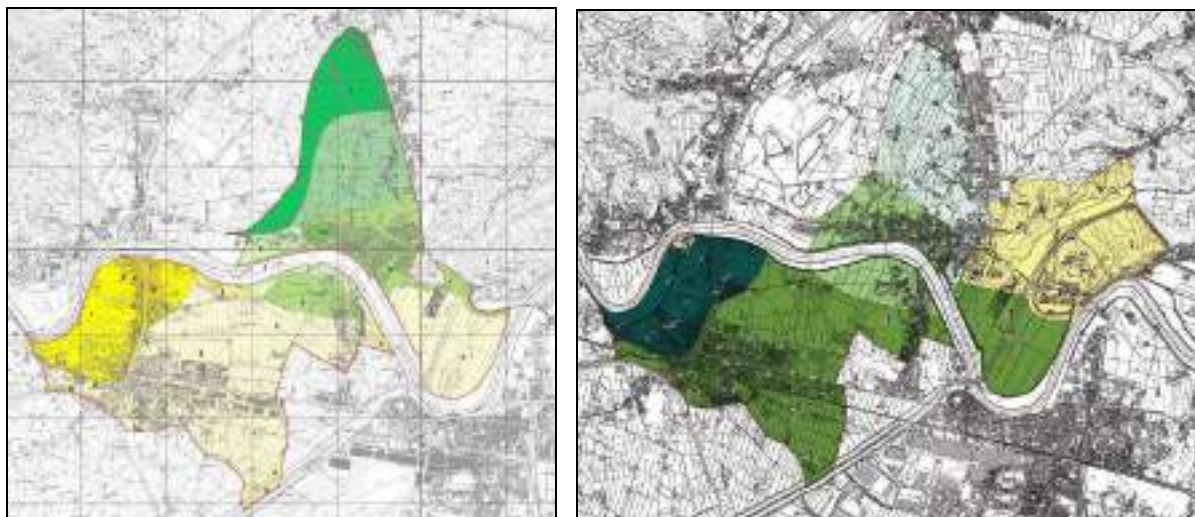


Fig.9.1 Carta delle MOPS MS2 (revisione livello1)



**Fig.9.2** Raffronto Carte MOPS MS1 (sx) e MS2 (dx)

Le misure di rumore hanno permesso di attribuire in generale una condizione di alto contrasto per le microzone 2001, 2003 e 2005, e di basso contrasto sismico per le zone 2002 e 2004. Ciò dipende da una combinazione di due fattori prevalenti: la velocità delle onde sismiche  $V_s$  dei terreni della copertura (in relazione anche alla presenza o meno di orizzonti sabbiosi addensati) e la profondità dell'orizzonte ghiaioso fattori. In dettaglio. Si riporta la tabella riassuntiva dei dati relativi alle misure di raggruppate nelle zone MOPS individuate.





MOPS	Località	ID_SPU	A1	F1	A2	F2
2001	Calcinaia	328	2,40	2,60		
2001	Calcinaia	343	3,90	2,03	2,80	0,40
2001	Calcinaia	344	3,60	1,78	3,20	0,40
2001	Casa Sardina	367	5,24	1,12	5,80	0,38
2001	Casa Sardina	368	7,29	0,53	3,90	1,00
2001	Casa Sardina	369	6,45	0,53	3,90	1,20
2001	Casa Sardina	325	3,10	1,90		
2001	Casa Sardina	324	2,30	1,40		
2001	Casa Sardina	327	2,40	2,30		
2001	Casa Sardina	323	1,80	1,20		
2001	Casa Sardina	338	3,80	1,28		
2001	Casa Sardina	339	3,30	1,19		
2001	Casa Sardina	340	4,20	1,47	2,60	0,50
2001	Casa Sardina	356	3,50	1,16		
2001	Oltrarno	376	3,72	1,81	5,00	0,32
2002	Calcinaia	366	5,86	0,40	2,90	1,90
2002	Calcinaia	329	2,90	1,70		
2002	Calcinaia	330	2,40	1,90		
2002	Calcinaia	341	2,80	0,44	2,70	1,20
2002	Calcinaia	342	3,70	0,41	2,60	1,80
2002	Calcinaia Lago Marrucco	370	7,27	0,46	3,90	0,95
2002	Oltrarno	371	5,01	0,37	2,80	1,40
2002	Oltrarno	348	3,20	0,35	2,20	1,20
2003	Case Bianche	374	3,98	1,15		
2003	Fornacette	335	2,10	1,30		
2003	Fornacette	315	3,10	1,20	2,90	0,52

2003	Fornacette	314	3,10	1,10		
2003	Fornacette E	383	4,51	1,08	5,00	0,35
2003	Fornacette E	384	5,45	0,39	3,60	1,20
2003	Fornacette E	386	3,76	1,26	5,20	0,38
2003	Fornacette E	389	4,39	1,17	6,00	0,38
2003	Fornacette E	352	3,60	1,19		
2003	Fornacette E	355	4,10	1,19	3,30	0,40
2003	Fornacette E loc Borselli	385	3,51	1,43	5,80	0,38
2003	Fornacette N	334	2,50	1,30		
2003	Fornacette N	351	3,70	0,50		
2003	Fornacette S	378	7,20	0,44	3,10	1,30
2003	Fornacette S	353	4,00	0,50	3,30	1,20
2003	Fornacette SE	354	4,00	0,47	3,80	1,20
2003	La Botte	337	2,20	1,40		
2003	Oltrarno	332	2,70	1,30		
2003	Oltrarno	331	2,80	1,50		
2003	Oltrarno	349	3,90	1,16	3,30	0,35
2003	Ponte alla Navetta	380	3,91	1,04	4,10	0,40
2003	Ponte alla Navetta	412	3,06	1,09		
2003	Ponte alla Navetta Loc. La Sassa	381	3,60	1,06	4,50	0,32
2004	Case Bianche	375	5,80	0,70		
2004	Case Bianche	347	3,90	0,72		
2004	Fornacette	336	1,80	1,70		
2004	Fornacette W	372	11,70	0,30		
2004	Fornacette W	296	4,80	0,60		
2004	Fornacette W	350	4,20	0,63		
2004	La Botte	373	7,83	0,81	4,50	0,45
2004	La Botte	346	5,20	0,94		
2005	La Botte	333	3,00	1,50		
2006	Calcinaia	365	2,96	2,05	3,70	0,32
2006	Calcinaia	379	3,05	3,20	6,00	0,30
2006	Paduletta zona scolmatore Arno	390	5,26	1,59	6,30	0,35
2006	S.Benedetto zona scolmatore Arno	377	5,50	1,54	6,50	0,35
2006	zona collinare Le Cerbaie	364	2,62	2,42	4,30	0,35
2006	zona collinare Le Cerbaie	387	3,43	2,42	5,10	0,35
2006	zona collinare Le Cerbaie	388	5,38	0,35	3,20	2,80
2006	zona collinare Le Cerbaie	391	3,11	2,31	5,20	0,35
2006	zona collinare Le Cerbaie	326	2,90	2,40		
2007	Ponte alla Navetta	392	5,19	0,44	3,00	12,00
2007	Ponte alla Navetta	363	2,41	5,04	4,20	0,35
2007	Ponte alla Navetta SP 5	382	4,76	0,44	2,20	2,20
2007	Ponte alla Navetta SP 5	345	4,00	0,41	2,10	1,80



Tab.9.1. Picchi di frequenza HVSR, raggruppamento MOPS

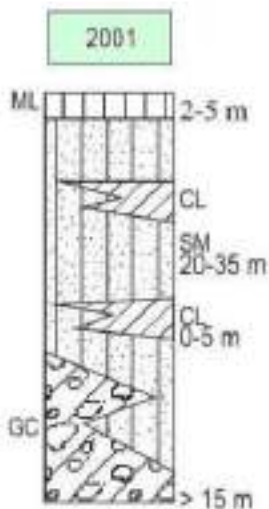
Di seguito si riportano le colonne rappresentative delle zone MOPS con breve descrizione e la relativa legenda

**Legenda terreni di copertura**

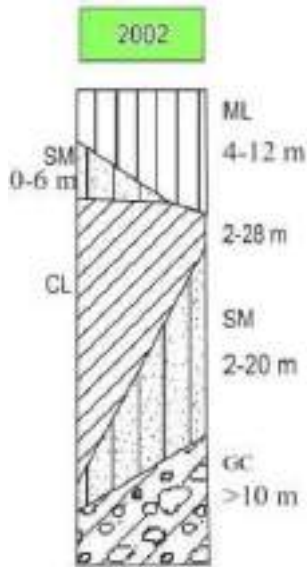
-  Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (GC)
-  Sabbie limose, miscela di sabbia e limo (SM)
-  Limi inorganici, farina di roccia, Sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (ML)
-  Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, Argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (CL)

**Legenda substrato geologico**

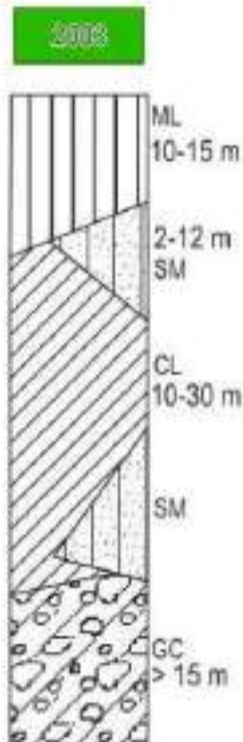
-  Substrato geologico coesivo sovraconsolidato (CO)
-  Substrato geologico granulare cementato stratificato (GRS)



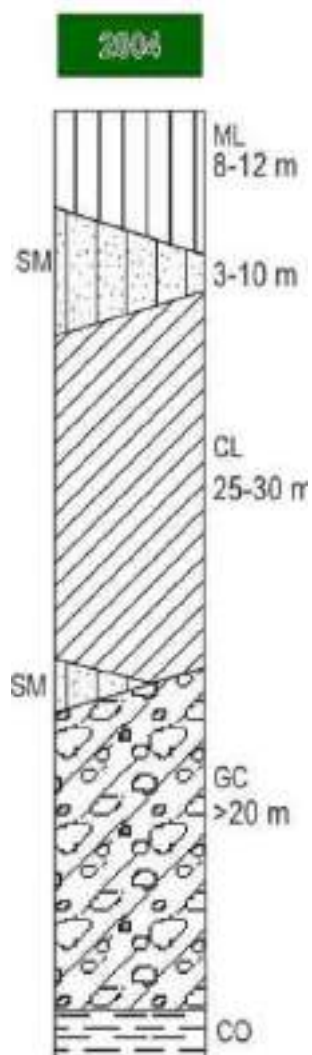
**Zona 2001:** caratterizzata da alto contrasto per la presenza delle ghiaie conglomeratiche dell’Arno -Serchio da Bientina a profondità di circa 25-40 m sottostanti una copertura sabbiosa e limoso argillosa contraddistinta da basse velocità  $V_s < 200-220$  m/s.



**Zona 2002:** caratterizzata da basso contrasto per la presenza delle ghiaie conglomeratiche dell'Arno -Serchio da Bientina a profondità maggiori di 35 m sottostanti una copertura sabbiosa e limoso argillosa contraddistinta da velocità  $V_s = 240 \div 300$  m/s.

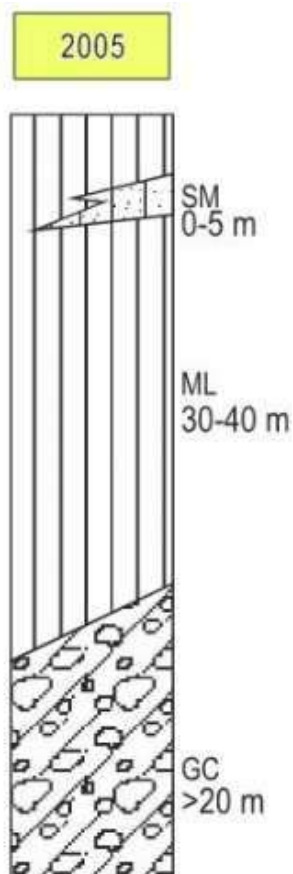


**Zona 2003:** caratterizzata da alto contrasto per la presenza di una copertura sabbiosa e limoso argillosa a basse velocità  $V_s < 200$  m/s, sovrastante il livello ghiaioso interdigato con il substrato geologico sovraconsolidato (CO) a profondità di circa 45 m.



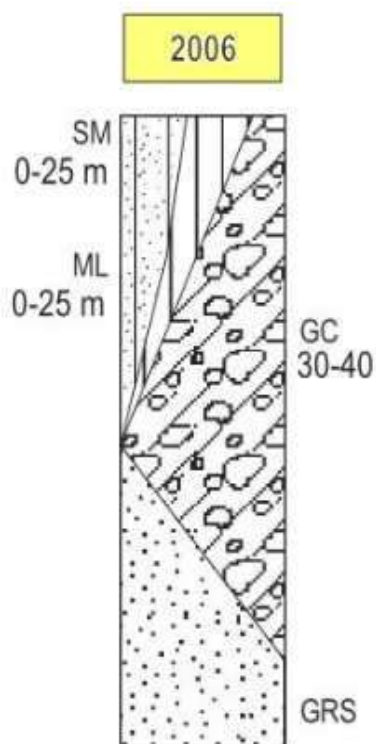
**Zona 2004** caratterizzata da basso contrasto per la presenza di una copertura sabbiosa e limoso argillosa contraddistinta da velocità  $V_s = 240 \div 260$  m/s con spessore di oltre 45 m al di sopra dell'orizzonte di ghiaie conglomeratiche dell'Arno -Serchio da Bientina a sua volta sormontante l'orizzonte sovraconsolidato CO



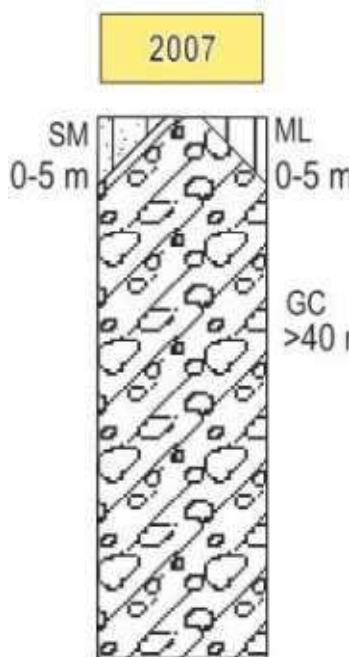


**Zona 2005** caratterizzata da alto contrasto per la presenza di una copertura prevalentemente limoso-argillosa con spessore di circa 35 m al di sopra dell'orizzonte di ghiaie conglomeratiche dell'Arno-Serchio da Bientina.

Relativamente all'area collinare delle Cerbaie la carta MOPS ha suddiviso il territorio in due microzone, a diverso contrasto simico. Nel dettaglio:



**Zona 2006** caratterizzata da alto contrasto per la presenza di un substrato geologico granulare stratificato a profondità di circa 25 m sottostante una copertura limoso-sabbiosa (coltre di alterazione detritica) o limoso argillosa (riporti canale Allacciante Scolmatore dell'Usciana).



**Zona 2007** caratterizzata da basso contrasto per la presenza di una scarsa copertura sabbioso-ghiaiosa con Vs di circa 400 m/s sormontante il substrato geologico granulare stratificato.

**9.3. Zone di attenzione per instabilità**

Per quanto concerne le zone suscettibili di instabilità: la carta ha riportato le aree di instabilità di versante (ZAfr), distinguendole in base alle tipologie di instabilità definite dalla carta geomorfologica di supporto al Progetto di Piano “Dissesti geomorfologici”, secondo la tabella di cui agli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica i cui codici -Versione 4.2, di seguito riportata (Tab.9.2). La presenza di area di attenzione per instabilità di versante indica che il riattivarsi di fenomeni franosi possa essere tra i principali problemi dovuti ad un eventuale sisma oltre chiaramente alle amplificazioni di tipo stratigrafico.

<b>Zone di Attenzione per Instabilità di versante ZA<sub>FR</sub></b>	1 - crollo o ribaltamento	2 - scorrimento	3 - colata	4 - complessa	5 - non definito
1 - attiva (FR_A)	301120xy	301220xy	301320xy	301420xy	301520xy
2 - quiescente (FR_Q)	302120xy	302220xy	302320xy	302420xy	302520xy
3 - inattiva (FR_I)	303120xy	303220xy	303320xy	303420xy	303520xy
4 - non definita (FR_ND)	304120xy	304220xy	304320xy	304420xy	304520xy

**Tab.9.2** Tipologie di instabilità di versante (ZAfr) presenti in zona collinare

Per quanto riguarda l’instabilità connessa al possibile fenomeno di liquefazione, in questa fase di revisione delle MOPS, si è provveduto ad effettuare alcune verifiche alla liquefazione dei terreni utilizzando un numero congruo di prove CPT/CPTU con vari metodi. Le verifiche a liquefazione sono state condotte con il software LAN della Aztec Informatica\_Licenza n. U5229R4 col metodo Robertson-Wride e Idriss & Boulanger (2014).

In considerazione del numero di prove CPT a disposizione, le verifiche sono state volte in corrispondenza delle aree contraddistinte da una maggiore componente sabbiosa nei primi metri dal piano campagna, considerando la categoria dei suoli e la profondità della falda in funzione dei dati disponibili per i siti di verifica, nelle condizioni più cautelative. Sono state ovviamente effettuate le verifiche su tutte le prove CPTU effettuate nell'ambito del presente studio.

Di seguito (Tab. 6) si riportano i risultati dell'Indice di liquefazione (IL) calcolato secondo Sonmez, con i dati utilizzati per le singole prove, mantenendo suddivise le prove CPTU della campagna condotta ad hoc per lo studio MS2, dalle prove CPT disponibili dalla banca dati comunale, scelte sulla base della lunghezza della prova, ubicazione ed attendibilità del dato. Sono state considerate anche le prove CPT della provincia di Pisa scaricate dal sito della Regione Toscana riguardante gli studi sulla liquefazione: <https://www.regione.toscana.it/documents/10180/16387534/Pisa.7z/02c052f2-2192-4b63-8c8a08425ba9c389>

Per il calcolo dell'analisi del potenziale di liquefazione nel caso delle prove statiche CPT, sono stati adottati i fattori correttivi previsti per il parametro  $f_s$ , come indicato dagli studi condotti dal progetto di ricerca eseguito dalla Regione Toscana con la collaborazione dell'Università di Pisa: "Analisi finalizzate alla verifica a liquefazione dei terreni nell'area della Provincia di Pisa e Lucca" (Università di Pisa, DESTeC – Rapporto Tecnico 2018)". Si tratta di un criterio empirico per correggere automaticamente i valori di  $f_s$  e di procedere alla correzione empirica del parametro  $I_c$ . Il metodo utilizzato è stato elaborato in collaborazione con l'Università di Pavia (Meisina et al. 2017, Lo Presti et al. 2017) ed è stato impiegato/validato utilizzando coppie di verticali penetrometriche in Emilia Romagna CPTm/CPTu nei siti soggetti a liquefazione a seguito della sequenza sismica del 2012 (Lo Presti et al. 2013). Il parametro correttivo pone in relazione il rapporto  $CPTu_f/CPTm_f$  con  $CPTu_f$  secondo la seguente formula di correlazione:

$$f_{s\ CPTu} = (0.0797 \times f_{s\ CPTm})^{2.504}$$

L'equazione ottenuta è applicabile per valori di  $f_s$  CPTm inferiori o uguali a 65 kPa. Oltre a tale valore di soglia fissato si assume  $f_s\ CPTm = f_s\ CPTu$ .

Sulla base di quanto sopra indicato, sono state effettuate per ciascuna verticale di indagine (CPT) verifiche con valori di  $f_s$  misurati e con valori di  $f_s$  corretti con la formula sopra riportata. Si fa presente inoltre che è stata utilizzata, mediante il software LAN, una procedura iterativa per il calcolo dell'indice di comportamento ( $I_c$ ).

Per quanto riguarda l'input sismico, i valori di  $a_g/g$  e magnitudo utilizzati sono riportati in tabella. In particolare la magnitudo utilizzata corrisponde ad un valore compreso tra la magnitudo media (pari a 4.8) calcolata col metodo della disaggregazione (INGV-Modello di pericolosità sismica MPS04-S1) e quella massima (pari a 6.14) rappresentativa della zona sismogenetica (Valori di  $M_{wmax}$  per le zone sismogenetiche di ZS9 - estratto da Gruppo di lavoro, 2004). Il valore di magnitudo  $M=5.5$  è quello che è stato utilizzato anche dagli studi di riferimento sopra citati, condotti dalla Regione Toscana con la collaborazione dell'Università di Pisa.

LPI	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile (FSL $\geq 1,2$ )
0 < LPI $\leq 2$	Basso
2 < LPI $\leq 5$	Moderato
5 < LPI $\leq 15$	Alto
15 < LPI	Molto alto

Tab.9.3 Classi potenziali liquefazione, Sonmez 2003

VERIFICHE A LIQUEFAZIONE CALCAINAIA						Sonmez	Sonmez	Sonmez	Sonmez		Sonmez	Sonmez	Sonmez	Sonmez	
						rischio liquef	indice liquef	rischio liquef	indice liquef		rischio liquef	indice liquef	rischio liquef	indice liquef	
						Robertson_	Robertson_	Idriso &	Idriso &		Robertson_	Robertson_	Idriso &	Idriso &	
						Wide	Wide	Boulangier	Boulangier		Wide	Wide	Boulangier	Boulangier	
						2014	2014	2014	2014		2014	2014	2014	2014	
MOPS	tipo inc.	indagine	ID_SFU	falda (m) d.p.z.	scavo	fs misurata	fs misurata	fs misurata	fs misurata	ag/g	Magnitudo	fs corr.	fs corr.	corr.	corr.
2001	CPT	319	294	3,1	D	nullo	0	basso	0,483	0,22	5,5	nullo	0	basso	1,797
2001	CPT	318	293	3,75	D	nullo	0	basso	0,274	0,22	5,5	nullo	0	basso	0,609
2001	CPT	318	293	3	D	nullo	0	basso	0,497	0,22	5,5	basso	0,001	basso	1,325
2001	CPT	315	290	3	D	nullo	0	basso	0,424	0,22	5,5	nullo	0	basso	0,922
2001	CPT	291	268	3	C	nullo	0	basso	0,006	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,008
2001	CPT	314	289	3	D	nullo	0	basso	0,381	0,22	5,5	nullo	0	basso	0,562
2001	CPT	148	137	2,5	D	nullo	0	moderato	2,614	0,22	5,5	nullo	0	moderato	3,566
2001	CPT	218	204	3	D	nullo	0	basso	0,176	0,22	5,5	nullo	0	basso	0,533
2002	CPT	331	302	3	C	nullo	0	nullo	0,247	0,18	5,5	nullo	0	moderato	2,379
2002	CPT	272	255	3	C	nullo	0	basso	0,009	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,598
2002	CPT	127	120	3	C	nullo	0	basso	0,155	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,401
2003	CPT	256	242	0,8	C	nullo	0	basso	1,114	0,18	5,5	nullo	0	moderato	2,284
2003	CPT	255	241	0,6	C	nullo	0	basso	0,172	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,581
2003	CPT	96	93	3	C	nullo	0	basso	0,035	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,311
2003	CPT	97	94	3	C	nullo	0	basso	0,095	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,417
2003	CPT	121	114	3	C	nullo	0	basso	0,062	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,749
2003	CPT	307	282	3	C	nullo	0	basso	0,293	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,620
2003	CPT	309	284	3	C	nullo	0	basso	0,505	0,18	5,5	nullo	0	moderato	2,138
2003	CPT	273	256	3	C	nullo	0	nullo	0	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,811
2004	CPT	47	48	3	C	nullo	0	basso	0,004	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,045
2004	CPT	62	63	3	C	nullo	0	basso	0,204	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,246
2004	CPT	46	46	3	C	nullo	0	basso	0,004	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,012
2004	CPT	57	58	3	C	nullo	0	basso	0,011	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,013
2004	CPT	50	51	3	C	nullo	0	basso	0,026	0,18	5,5	nullo	0	basso	0,035
2001	CPTU	cata 01	357	7	C	basso	0,026	basso	0,081	0,18	5,5	/	/	/	/
2001	CPTU	cata 01	357	3	C	basso	0,548	moderato	2,931	0,18	5,5	/	/	/	/
2002	CPTU	cata 06	362	3	C	basso	0,609	nullo	0	0,18	5,5	/	/	/	/
2003	CPTU	cata 02	358	6,4	C	nullo	0	basso	0	0,18	5,5	/	/	/	/
2003	CPTU	cata 02	358	3	C	nullo	0	basso	0,041	0,18	5,5	/	/	/	/
2004	CPTU	cata 03	359	7	C	nullo	0	basso	0,014	0,18	5,5	/	/	/	/
2004	CPTU	cata 03	359	3	C	nullo	0	basso	0,952	0,18	5,5	/	/	/	/
2006	CPTU	cata 05	361	3,5	C	nullo	0	nullo	0	0,18	5,5	/	/	/	/
2006	CPTU	cata 04	360	3	D	nullo	0	basso	0,200	0,22	5,5	/	/	/	/

Tab.9.4 Tabella sinottica delle verifiche a liquefazione condotte

Dai risultati emerge complessivamente una nulla o bassa propensione all’instabilità connessa con il fenomeno della liquefazione. Tutto ciò risulta in accordo con le evidenze storiche che non hanno mai segnalato fenomeni particolarmente gravosi di liquefazione in Toscana.

Delle prove CPT/CPTU oggetto di verifica a liquefazione, solo 4 hanno rilevato un rischio moderato, (indicate in arancione in Fig.16):

- due con un IL prossimo a 2, quindi alla soglia di potenziale basso, in un areale caratterizzato da misure con indice basso  $IL < 2$  (ID\_SPU 242,284);
- una CPTU con indice moderato  $< 3$  (2,9) (ID\_SPU 357/CPTU01) in un areale caratterizzato da misure con indice basso  $IL < 2$  (ID\_SPU 242,284), comunque classificata in pericolosità S3;
- la CPT ID\_SPU 137 con IL 3.5 (corretto) che si trova sul confine comunale con Bientina può risentire della presenza del paleoalveo dell'Arno che si trova interamente nel territorio comunale di Bientina.

In considerazione di quanto esposto, non si evidenziano areali con potenziale di instabilità per liquefazione a fini pianificatori.

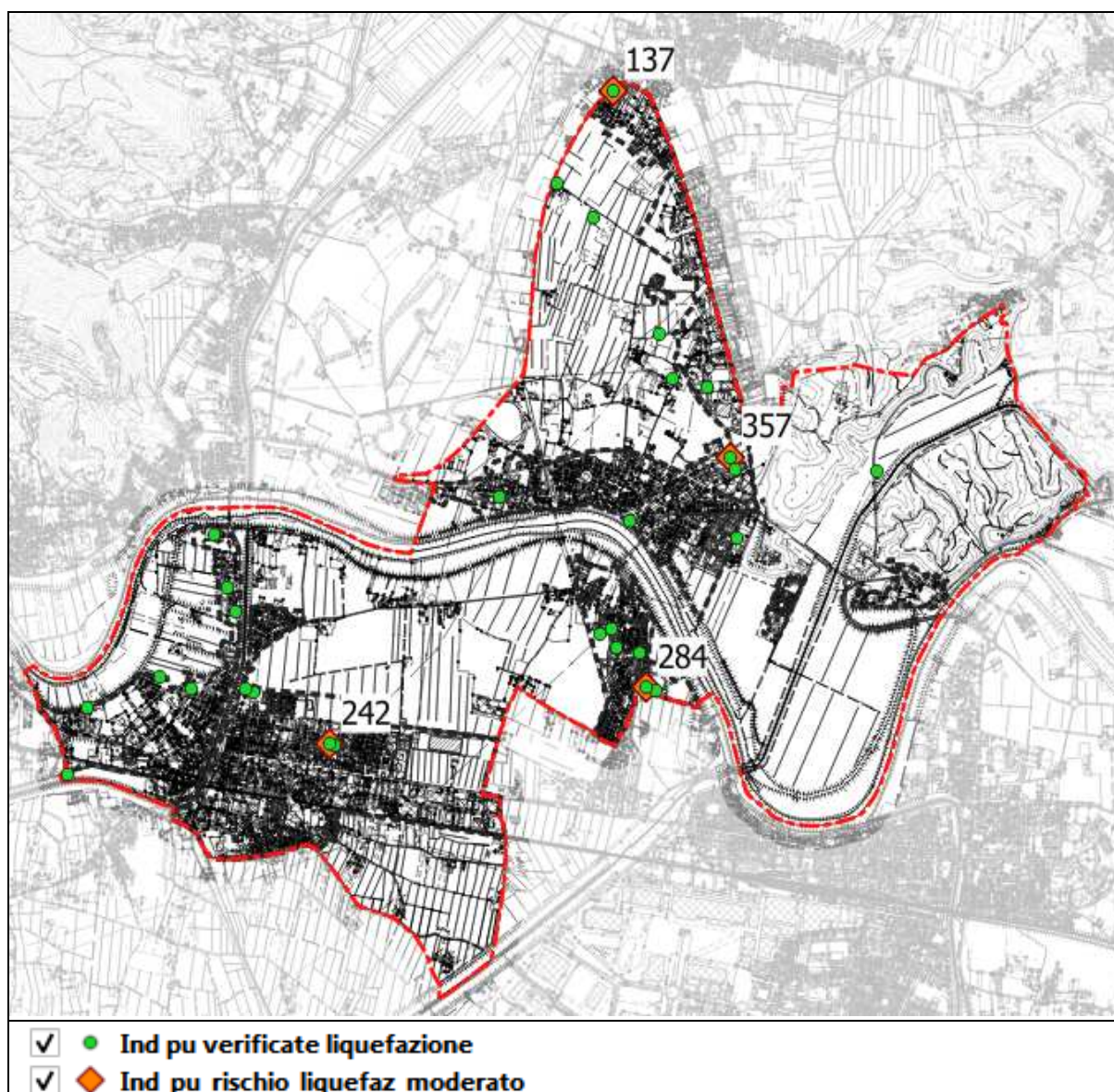


Fig.9.3 Distribuzione prove CPT/CPTU di verifica a liquefazione

## 10. PROCEDURA SEMIQUANTITATIVA DI VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA MOPS

La procedura con cui si è cercato di valutare in via semiquantitativa la qualità della carta di sintesi MOPS ottenuta è quella indicata dagli ICMS (2008), mediante il foglio di calcolo messo a disposizione on-line dal servizio sismico della regione

La procedura ha previsto le seguenti fasi:

- costruzione di un reticolato di celle quadrate orientate N-S e E-W, con lato di 250m, su tutta l'area comunale (Fig.10.1). Per ogni quadrato della maglia vengono considerati il numero dei sondaggi a distruzione, dei sondaggi a carotaggio continuo, delle prove geotecniche in situ e delle misure di frequenza presenti. In funzione del numero delle prove, della percentuale di celle occupate, del numero di prove che raggiungono il substrato per le prove geotecniche e della classe di affidabilità delle misura di frequenza viene affidato un punteggio, determinabile dalla tabella

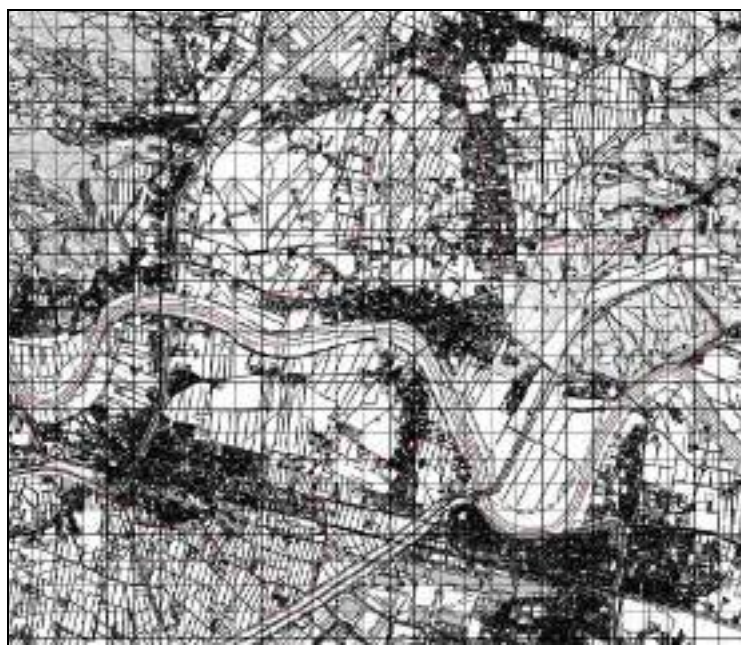


Fig.10.1 Costruzione reticolato 250m con QGis

- compilazione della tabella che prevede 6 parametri ai quali viene assegnato un peso (Fig.10.2). La percentuale che determina la successiva classe di affidabilità viene calcolata con la seguente formula (sommatoria) indicata per determinare il Fattore di qualità FQ;

$$FQ = \left[ \frac{100}{\sum_{i=1}^I P_i} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left( \frac{\sum_{j=1}^{J_i} S_{ij}}{J_i} \right) = \left[ \frac{100}{4} \right] \sum_{i=1}^I P_i \left( \frac{\sum_{j=1}^{J_i} S_{ij}}{J_i} \right)$$

- si è associata al Fattore di qualità la corrispondente classe di qualità sulla base della suddivise nelle seguenti categorie previste e relative indicazioni:
  - Classe A, valori superiori al 75%, indicazioni: nessuna, carta di Livello 1 di ottima qualità;
  - Classe B, valori intervallo 50%-74%, indicazioni: migliorare almeno uno dei parametri;

- Classe C, valori intervallo 25 %-49%, indicazioni: programmare indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità;
- Classe D, valori inferiori al 25%; indicazioni: la carta di livello 1 è di scarsa qualità a non risponde ai requisiti minimi richiesti dagli ICMS e dalle suddette specifiche.

La carta risulta di **Classe B con un punteggio di 51,4%**.

Il punteggio risente del fattore penalizzante di non avere nell’area un bedrock sismico rigido su cui si attestino i sondaggi più profondi e le indagini sismiche e seguite ad hoc, altrimenti risulterebbe di Classe A.

Di questo fattore va tenuto in considerazione in quanto la qualità non migliorerebbe sino alla classe A anche incrementando i punti di indagini o agendo su alcuno dei parametri.

In allegato di seguito nel testo si riporta la scheda di valutazione (**Appendice 1**).

Tabella 1 – Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l’attribuzione dei pesi e dei punteggi

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0-33)	Media (0-66)	Alta (1)
Carta geologico-terrica (1)	0.33	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
	0.33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
	0.33	Scala rilevamento	No data	50.000-25.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0.50)	0.33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0.33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0.50)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0.25)	0.33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0.75)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Classe di affidabilità misure (Albatalo et al)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

\* D. Albatalo, C. Corsi, V. Iaffai, F. Giamai, E. Lanedini, B. Paolucci, D. Pilaggi, L. M. Pizzilli - Il contributo della storica passata nella microzonazione di due macroaree sismiche: in stampa su Boll. Geofis. Teor. Appl.

Fig.10.2 Tabella parametri, pesi e punteggi

## 11. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2

Il passaggio dalla Microzonazione Sismica di Livello 1 al superiore Livello 2 si traduce essenzialmente nel passaggio da un livello qualitativo, rappresentato dalla suddivisione del territorio in zone omogenee dal punto di vista della risposta sismica locale attraverso la cartografia MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica), ad un livello quantitativo, ovvero ad una cartografia che prevede la suddivisione del territorio in zone caratterizzate da fattori di amplificazione del moto sismico ( $F_a$ ) omogenei.

La carta di microzonazione sismica è stata redatta seguendo le specifiche tecniche riportate negli ICMS2008 e successive modificazioni e gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.2.

Per quanto riguarda le amplificazioni litostratigrafiche e quindi per il calcolo dei coefficienti di amplificazione FA0105, FA0408 e FA0711 sono stati usati gli abachi proposti dalla Regione Toscana seguendo i seguenti criteri e modalità illustrati di seguito.

Al fine di agevolare le modalità di utilizzo degli abachi, di seguito sono illustrati gli step seguiti per la redazione dello studio di microzonazione sismica di livello 2:

### 1) Determinazione della macroarea di appartenenza del comune

Nella mappa di seguito riportata è possibile visualizzare le differenti macroaree in cui è stato suddiviso il territorio regionale e, cliccando sull'area, scaricare gli abachi relativi;



**Fig.11.1** Macroaree per la scelta degli abachi di secondo livello  
(da: specifiche tecniche regionali Allegato A- Edizione n.7)

L'area geografica al cui interno ricade il comune interessato (Comune di Calcinaia) è quella della Toscana Interna.



## 2) Stima del valore di accelerazione di base

Definita la macroarea, si è stimato il valore di accelerazione di base per un tempo di ritorno di 475anni (ag475anni) del centro abitato oggetto di analisi di secondo livello, con riferimento alla Mappa di Pericolosità sismica (INGV, 2004) riportata nell' Allegato B delle NTC2008. I valori di soglia sono 0.15g per le macroaree della Toscana appenninica e dell'area di transizione e 0.125g per la Toscana interna. Tale operazione permette di ricondursi alla tipologia di abachi più idonei al contesto macrosismico dell'area d'indagine.

Per un tempo di ritorno  $TR = 475$  anni, il valore di accelerazione di base "ag", per l'area indagata, risulta  $< 0.125g$ .

## 3) Stima della profondità del substrato

Sulla base dei dati di sottosuolo a disposizione per ogni sito di misura del valore di FHa, si è stimato la profondità del substrato sismico è minore o superiore a 30m. Tale informazione è essenziale per la scelta dell'abaco più idoneo al contesto sismostratigrafico della verticale di analisi.

Per quanto riguarda tale aspetto, da un confronto con il personale tecnico del settore sismico regionale, si è convenuto di considerare, per le zone collinari delle Cerbaie, il substrato sismico a profondità minori di 30m, a titolo cautelativo, data la variabilità delle velocità sismiche e del comportamento di bedrock simico.

Anche per la parte del settore pedecollinare (MOPS 2001,2006,2007) dove la stratigrafia indica possibili contrasti di impedenza rilevanti al limite della profondità di 30m, legato al livello ghiaioso ciottoloso o a

Per ogni singolo sito di misura e stata individuata, attraverso i risultati delle indagini eseguite e disponibili, la profondità del substrato sismico, maggiore di 30 m nella zona di pianura e minore di 30 m nella zona collinare.

## 4) Determinazione dei valori di FHa

Avendo a disposizione, per la verticale oggetto di analisi, il dato sulla frequenza fondamentale ed il valore di Vs30 o Vsh (le cui classi sono visibili nella Tabella sotto riportata), si può pervenire alla determinazione dei valori di FHa (0.1-0.5s ; 0.4-10.8s; 0.7-1.1s). Qualora, a seguito della realizzazione di appropriate campagne di misura, non sia disponibile un valore di frequenza fondamentale del sito, al fine di stimare i valori dei fattori di amplificazione, deve essere realizzata un'apposita analisi di Risposta Sismica Locale (RSL) o, in alternativa, utilizzare il valore riportato negli abachi in corrispondenza della colonna "75° perc." e relativo al fattore di amplificazione che scaturisce dal 75° percentile di tutte le analisi effettuate per quel determinato range di Vs30 o Vsh;

Definiti puntualmente i fattori di amplificazione, l'estensione areale tiene conto del modello geologico s.l. desunto dallo studio di MS di livello 1, opportunamente integrato nell'ambito di questa fase.

Per ogni area sono stati individuati i relativi valori di frequenza fondamentale (Hz) e di Vs30 (m/s) o Vsh (m/s), quest'ultima nei casi in cui il substrato sismico si colloca ad una profondità  $h < 30$  metri ri-

spetto al piano campagna.

Le classi di frequenza e di velocità riconosciute per gli abachi sono riportati nella tabella seguente:

Classi	
frequenza (Hz)	fo < 1
	1.5                      1 ≤ fo < 2
	2.5                      2 ≤ fo < 3
	3.5                      3 ≤ fo < 4
	4.5                      4 ≤ fo < 5
	5.5                      5 ≤ fo < 6
	6.5                      6 ≤ fo < 7
	7.5                      7 ≤ fo < 8
	fo ≥ 8
velocità (m/s)	Vs < 200
	300                      200 ≤ Vs < 400
	500                      400 ≤ Vs < 600
	700                      600 ≤ Vs < 800

Tab.11.1 Classi di frequenza e velocità riconosciute nel territorio comunale

Determinati, per ogni area di indagine, i dati sulla frequenza fondamentale e sul valore di Vs30 o Vsh, sono stati definiti, attraverso l'utilizzo degli abachi, in funzione della profondità attribuita al locale substrato geologico (> 30 m o ≤ 30 m), per gli intervalli di FHa 0.1-0.5s ; 0.4-10.8s; 0.7-1.1s, i relativi valori del fattore di amplificazione.

Sono stati valutati i coefficienti di amplificazione stratigrafica derivanti dall'incrocio della velocità delle onde S nei primi 30 metri di sottosuolo o della Vsh se il substrato è meno profondo di 30 metri, e il relativo picco derivante dalle misure di rumore H/V.



Fig.11.2 Abachi utilizzati per la redazione della carta MS2



Fig.11.3 Abachi utilizzati per la redazione della carta MS2

Una volta individuati gli abachi da utilizzare si è proceduto al calcolo dei fattori di amplificazione su tutte le verticali (61) corrispondenti alle misure di microtremore a stazione singola HVSr.

5) Amplificazione topografica

Per le aree collinari è stato applicato il fattore di amplificazione topografica secondo le procedure indicate al par.6.5 delle linee guida di riferimento e secondo quanto proposto dal DSFTA dell'Università di Siena in occasione dell'aggiornamento degli abachi litostratigrafici regionali, elaborata per la microzonazione sismica dei territori del centro Italia interessati dall'importante sequenza sismica del 2016-2017. La formula proposta per il calcolo del periodo T è quella di Ashford et al.,1997:

$T=5H/vs$

In accordo con i risultati ottenuti, il fattore di amplificazione topografica alla sommità del pendio, può essere posto:

- St=1.0 pendii inclinazione <15°
- St=1.2 pendii 15°>inclinazione <30°
- St=1.4 pendii inclinazione>30°
- St=1.55 pendii subverticali

In considerazione delle velocità sismiche dei depositi plio-pleistocenici dei rilievi e delle altezze in gioco, considerando pendenze tra 15 e 30°, si sono ottenuti valori moltiplicativi St=1.2, per i fattori di amplificazione FA nella classi di frequenza 0.4-0.8s e 0.7-1.1s.

L'areale amplificato topograficamente., è riportato nelle relative carte.

La tabella di seguito rappresenta il quadro sinottico della stima del FA per ogni punto (ID\_SPU).



E' stato così possibile avere a disposizione diversi valori di amplificazione su ogni Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica che hanno consentito di trasformare alcune MOPS, sostanzialmente suddividendole quando necessario, in Microzone Sismiche di Livello 2:

Carta di microzonazione sismica di livello II - FHa 0.1-0.5 s;

Carta di microzonazione sismica di livello II - FHa 0.4-0.8 s;

Carta di microzonazione sismica di livello II - FHa 0.7-1.1 s.

La tabella 11.2 evidenzia che all'interno delle zone MOPS definite nell'ambito del presente studio sono state individuate sottozone con associati differenti valori della frequenza fondamentale di risonanza e della  $V_s$ , con particolare riferimento all'area collinare e pedecollinare, a causa della variabilità delle  $V_s$  e della profondità dell'interfaccia risonante, dell'influenza della correzione topografica e, da ultimo, la minore densità relativa delle indagini a disposizione.

In generale il quadro delle MOPS individuato risulta omogeneo con buone risultanze a fronte dell'applicazione degli abachi, per la parte di pianura, in ragione della omogeneità del quadro stratigrafico e dell'ampio numero di punti indagine a disposizione che ha permesso una buona suddivisione già a livello di MS1.

Nello specifico si può sintetizzare quanto segue:

#### ZONA 2001 –“Casa Sardina-Calcinaia E”

Si evidenzia una possibile suddivisione in sottozone, evidenziando una diversità dell'area pedecollinare e relativa al tracciato del paleoalveo precedente allo storico taglio del meandro

Sottozona A (piana)

**$FA_{0,1-0,5s} = 1,4$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 2,1$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 2,6$**

Sottozona B (area-paleoalveo)

**$FA_{0,1-0,5s} = 1,8$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 1,9$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 2,1$**

Sottozona C (area pedecollinare)

**$FA_{0,1-0,5s} = 1,8$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 2,1$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 1,5$**

#### ZONA 2002 –“Calcinaia-Oltrarno N”

**$FA_{0,1-0,5s} = 1,4$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 1,9$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 2,1$**

La MOPS è stata accorpata con le limitrofe Zone 2001-2003 per il fattore di amplificazione  $FA_{01-05}=1.4$  che caratterizza il vasto areale della piana.

E' possibile evidenziare una sottozona in corrispondenza dell'area del Lago Marrucco caratterizzata da un minore fattore di amplificazione  $<1.4$  nell'intervallo di interesse ingegneristico. 0105s.

sottozona A -Lago Marrucco:

**$FA_{0,1-0,5s} = 1,1$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 1,6$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 2,1$**

Entrambe le sottozone si possono accorpate con la limitrofa Zona 2003 per  $FA_{07-11s}$ .

#### ZONA 2003 –“Fornacette E-Oltrarno S”

**$FA_{0,1-0,5s} = 1,4$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 2,1$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 2,6$**

Risulta molto omogenea con solo due misure leggermente differenti, all'interno di una vasta area omogenea, situate lungo l'asse della viabilità Tosco-Romagnola. Per chiarezza si è evidenziata una sottozona A:

**$FA_{0,1-0,5s} = 1,4$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 1,9$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 2,1$**

La MOPS è stata accorpata con le limitrofe Zone 2001-2002 per il fattore di amplificazione  $FA_{01-05}=1.4$  che caratterizza il vasto areale della piana.

#### ZONA 2004 –“Fornacette W-Case Bianche”

$FA_{0,1-0,5s} = 1,1$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 1,4$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 1,5$

Risulta molto omogenea con una sola misura anomala all'interno di un gruppo omogeneo che non si è dovuto effettuare suddivisioni della MOPS stessa. Non è soggetta ad accorpamenti con MOPS limitrofe, in nessun intervallo di periodi

#### ZONA 2005 –“La Botte”

$FA_{0,1-0,5s} = 1,a$ ;  $FA_{0,4-0,8s} = 1,9$ ;  $FA_{0,7-1,1s} = 2,1$

Si tratta di una piccola area al limite dei rilievi calcarei di Vico Pisano, che probabilmente risente di un substrato geologico non molto profondo, del quale però non vi è riscontro per mancanza di dati.

#### ZONA 2006 –“Le Cerbaie”

La microzona collinare presenta molta disomogeneità con molte sottozone, in ragione della diversa velocità delle Vs che caratterizza le due formazioni plioceniche, seppur entrambe ghiaioso-sabbione, legate al grado di cementazione e interstrati sabbiosi (AURg, VILg) e della presenza di una zona centrale (paleovalle) meno acclive e con maggiore copertura fine. A questi fattori si aggiunge anche la disomogeneità nello spessore delle coperture superficiali che attenuano le Vs del substrato pliocenico, legata alla presenza di locali corpi detritici e franosi che attenuano (instab).

Sottozona A (nord, formazione AURg):  $FA_{0,1-0,5s} = 1,8$  -  $FA_{0,4-0,8s} = 1,8$  -  $FA_{0,7-1,1s} = 2,5$

Sottozona B (sud, formazione VILg):  $FA_{0,1-0,5s} = 1,6$  -  $FA_{0,4-0,8s} = 1,9$  -  $FA_{0,7-1,1s} = 1,4$

Sottozona C (valle centrale):  $FA_{0,1-0,5s} = 1,5$  -  $FA_{0,4-0,8s} = 2,5$  -  $FA_{0,7-1,1s} = 2,4$

Sottozona D (poligoni instab):  $FA_{0,1-0,5s} = 1,6/1,8$  -  $FA_{0,4-0,8s} = 1,6/1,8$  -  $FA_{0,7-1,1s} = 1,6/1,8$

L'areale andrebbe maggiormente indagato e definito nel successivo livello3, anche se di fatto, si tratta di area vincolata, con scarso interesse ai fini della pianificazione urbanistica.

#### ZONA 2007–“Ponte alla Navetta”

Rappresenta la fascia pedecollinare a est di Calcinaia, per gli stessi fattori indicati per la Zona 6, è suddivisibile in tre sottozone:

Sottozona A:  $FA_{0,1-0,5s} = 2,0$  -  $FA_{0,4-0,8s} = 1,7$  -  $FA_{0,7-1,1s} = 1,2$

Sottozona C:  $FA_{0,1-0,5s} = 1,8$  -  $FA_{0,4-0,8s} = 1,2$  -  $FA_{0,7-1,1s} = 1,1$

Sottozona B:  $FA_{0,1-0,5s} = 1,4$  -  $FA_{0,4-0,8s} = 1,9$  -  $FA_{0,7-1,1s} = 2,1$

L'areale andrebbe maggiormente indagato e definito nel successivo livello3, anche se di fatto, riveste uno scarso interesse con scarso interesse ai fini della pianificazione urbanistica.

## 12. BIBLIOGRAFIA

**Albarelo D. (2008)** - *Limiti e potenzialità dell'uso del rumore ambientale per la valutazione della risposta di sito e l'analisi strutturale*. Dipartimento di Scienze della Terra- Università di Siena. "Monitoraggio dinamico per la valutazione della sicurezza sismica dei ponti", Udine, 18 Aprile 2008

**Albarelo D., Castellaro S. (2011)** - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola* Art. Ingegneria Sismica, Anno XVIII- n.2, 2011

**Bramerini F., Di Pasquale G., Naso G., Severino M. (2018)**- *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Parti I e II, Dipartimento della Protezione Civile, Conferenza delle Regioni e delle Province autonome

**C.R.P.S (2011)** - *Microzonazione sismica regionale. Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica*. Direzione generale delle politiche territoriali e ambientali politiche per la mobilità, Regione Toscana, allegato A.

**Commissione tecnica per la microzonazione sismica, Dipartimento di Protezione Civile (2015)** – *Microzonazione sismica, Standard di Rappresentazione e archiviazione informatica*. Versione 4.1.

**Mazzanti R., Pinna M.(1994)** - *La Pianura di Pisa e i rilievi contermini. La natura e la storia*. Memorie della società geografica italiana. Volume L- Roma

**Piano Strutturale Comunale (2015)** approvato con Delibera C.C. 83 del 18/12/2012, nell'ambito del quale è stato condotto uno studio di Microzonazione di Livello 1, redatto in conformità agli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS), approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle regioni e delle Province autonome.

**Paolucci E, Peruzzi G., Albarelo D. (2019)** - *Aggiornamento degli abachi di amplificazione sismica per la redazione di studi di MS di livello 2*.

**Piano Strutturale Intercomunale Unione della Valdera (PSI) (2021)** adottato con Delibera CC n. 41 del 03/07/2020, in attesa di approvazione.

**Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), (2016)** - *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

**Università degli studi di Pisa Dipartimento di Ingegneria Civ. Ind. e Geot. (2018)** - *Analisi finalizzate alla verifica a liquefazione dei terreni nell'area della provincia di Pisa e Lucca*. Accordo DESTeC-UNIFI.

### Siti web consultati:

<http://diss.rm.ingv.it/diss/KML-HTMLoptions.html> Mappa sismogenetica aggiornata;

<http://esse1-gis.mi.ingv.it/> Pericolosità sismica e disaggregazione;

<http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet Database terremoti>;

[www.regionetoscana.it](http://www.regionetoscana.it) Regione Toscana;

<http://www.ingv.it/it/Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia>.

## **APPENDICE 1**

**Scheda di valutazione semiquantitativa della Carta di MS di livello 2**



FOGLIO DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA QUALITA' DELLA CARTA DEL LIVELLO DI MICROZONAZIONE SISMICA SULLA BASE DELLE INDAGINI PREGRESSE E/O NUOVE

a Parametro 4 **Comune di Calcinaia (PI) non inserito nel Programma VEL, cartografia allegata strumento urbanistico, scala 1:10000 e recente, n.18 sondaggi a c.c., n.45 ind. geofisiche, n.68 misure di frequenze, n. 297 ind. geotecniche**

Inserire il valore solo nelle celle colorate in viola

278 celle

b	Carta Geologico tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	<i>Punteggi indicatori</i>	1	0,66	1	
	<i>Pesi indicatori</i>	0,33	0,33	0,33	

c	Sondaggi a distruzione	0,5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>	0	0	0	
	<i>Pesi indicatori</i>	0,33	0,33	0,33	

d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>	1	0,33	0	
	<i>Pesi indicatori</i>	0,33	0,33	0,33	

e	Indagini geofisiche	0,5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>	1	0,33	0,33	
	<i>Pesi indicatori</i>	0,33	0,33	0,33	

f	Prove geotecniche	0,25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>	1	0,66	0	
	<i>Pesi indicatori</i>	0,33	0,33	0,33	

g	Misure Frequenze	0,75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
	<i>Punteggi indicatori</i>	1	0,33	0	
	<i>Pesi indicatori</i>	0,33	0,33	0,33	

Tabella 1 – Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l'attribuzione dei pesi e dei punteggi

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0,33)	Media (0,66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0,33	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
	0,33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
	0,33	Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0,50)	0,33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0,33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0,50)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio (0,25)	0,33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0,75)	0,33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0,33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0,33	Classe di affidabilità misure (Albarelli et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

\* D. Albarello, C. Cesi, V. Enlili, F. Guerrini, E. Lunedi, E. Paoletti, D. Pilgeri, L.M. Puzilli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Teor. Appl.

a	25	punteggi parziali
b	0,88	21,9
c	0,00	0,0
d	0,44	11,0
e	0,27	6,8
f	0,14	3,4
g	0,33	8,2
Tot	51,4	51,4

Classe B

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
A	≥ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
D	≤ 25%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana



Risultato condizionato dall'assenza di bedrock per assetto geologico locale

## **APPENDICE 2**

**Tabelle di correlazione codice identificativo indagini**

## INDAGINI LINEARI

ID_SLN	CLASSE INDAGINE	TIPO INDAGINE	CAMPAGNA	PRECEDENTE IDENTIFICATIVO
1	GEOFISICA	MASW	MS1	206
2	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	277
3	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	278
4	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	279
5	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	281
6	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	282
7	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	286
8	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	321
9	GEOFISICA	MASW	MS1	323
10	GEOFISICA	MASW	MS1	324
11	GEOFISICA	MASW	MS1	329
12	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	334
13	GEOFISICA	MASW	MS1	342
14	GEOFISICA	MASW	MS1	344
15	GEOFISICA	MASW	MS1	346
16	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	356
17	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	357
18	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	358
19	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	359
20	GEOFISICA	SISMICA RIFRAZIONE	MS1	360
21	GEOFISICA	MASW	MS1	376
22	GEOFISICA	MASW	MS1	377
23	GEOFISICA	MASW	MS1	378
24	GEOFISICA	MASW	MS1	379
25	GEOFISICA	MASW	MS1	380
26	GEOFISICA	MASW	MS1	381
27	GEOFISICA	MASW	MS1	382
28	GEOFISICA	MASW	MS1	383
29	GEOFISICA	MASW	MS1	384
30	GEOFISICA	MASW	PSI	01
31	GEOFISICA	MASW	PSI	02
32	GEOFISICA	MASW	MS2	MASW02
33	GEOFISICA	MASW	MS2	MASW01
34	GEOFISICA	MASW	MS2	ESAC01MW03
35	GEOFISICA	MASW	MS2	ESAC02MW04
36	GEOFISICA	MASW	MS2	ESAC03MW05
37	GEOFISICA	MASW	MS2	ESAC04MW06
38	GEOFISICA	MASW	MS2	ESAC05MW07

**INDAGINI PUNTUALI**

<b>ID_SPU</b>	<b>CLASSE INDAGINE</b>	<b>tipo</b>	<b>CAMPAGNA INDAGINI</b>	<b>ID_CAMPAGNA</b>
1	geotecnica in sito	CPT	PS	1
2	geotecnica in sito	CPT	PS	2
3	geotecnica in sito	CPT	PS	3
4	geotecnica in sito	CPT	PS	4
5	geotecnica in sito	CPT	PS	5
6	geotecnica in sito	CPT	PS	5b
7	geotecnica in sito	CPT	PS	6
8	geotecnica in sito	CPT	PS	7
9	geotecnica in sito	CPT	PS	8
10	geotecnica in sito	CPT	PS	9
11	geotecnica in sito	CPT	PS	10
12	geotecnica in sito	CPT	PS	11
13	geotecnica in sito	CPT	PS	12
14	geotecnica in sito	CPT	PS	13
15	geotecnica in sito	CPT	PS	14
16	geotecnica in sito	CPT	PS	15
17	geotecnica in sito	CPT	PS	16
18	geotecnica in sito	CPT	PS	17
19	geotecnica in sito	CPT	PS	18
20	geotecnica in sito	CPT	PS	19
21	geotecnica in sito	CPT	PS	20
22	geotecnica in sito	CPT	PS	21
23	geotecnica in sito	CPT	PS	22
24	geotecnica in sito	CPT	PS	23
25	geotecnica in sito	CPT	PS	24
26	geotecnica in sito	CPT	PS	25
27	geotecnica in sito	CPT	PS	26
28	geotecnica in sito	CPT	PS	27
29	geotecnica in sito	CPT	PS	28
30	geotecnica in sito	CPT	PS	29
31	geotecnica in sito	CPT	PS	30
32	geotecnica in sito	CPT	PS	31
33	geotecnica in sito	CPT	PS	32
34	geotecnica in sito	CPT	PS	33
35	geotecnica in sito	CPT	PS	34
36	geotecnica in sito	CPT	PS	35
37	geotecnica in sito	CPT	PS	36
38	geotecnica in sito	CPT	PS	37
39	geotecnica in sito	CPT	PS	38
40	geotecnica in sito	CPT	PS	39
41	geotecnica in sito	CPT	PS	40
42	geotecnica in sito	CPT	PS	41
43	geotecnica in sito	CPT	PS	42
44	Idrogeologia	PA	PS	43
45	geotecnica in sito	CPT	PS	44
46	geotecnica in sito	CPT	PS	45
47	geotecnica in sito	CPT	PS	46
48	geotecnica in sito	CPT	PS	47
49	geotecnica in sito	CPT	PS	48
50	geotecnica in sito	CPT	PS	49
51	geotecnica in sito	CPT	PS	50
52	geotecnica in sito	CPT	PS	51
53	geotecnica in sito	CPT	PS	52
54	geotecnica in sito	CPT	PS	53
55	geotecnica in sito	CPT	PS	54
56	geotecnica in sito	CPT	PS	55
57	geotecnica in sito	CPT	PS	56
58	geotecnica in sito	CPT	PS	57
59	geologia	S	PS	58
60	geologia	S	PS	59

INDAGINI PUNTUALI

61	geologia	S	PS	60
62	geologia	S	PS	61
63	geotecnica in sito	CPT	PS	62
64	geotecnica in sito	CPT	PS	63
65	geotecnica in sito	CPT	PS	64
66	geotecnica in sito	CPT	PS	65
67	geotecnica in sito	CPT	PS	66
68	geotecnica in sito	CPT	PS	67
69	geotecnica in sito	CPT	PS	68
70	geotecnica in sito	CPT	PS	69
71	geotecnica in sito	CPT	PS	70
72	geotecnica in sito	CPT	PS	71
73	geotecnica in sito	CPT	PS	72
74	geotecnica in sito	CPT	PS	73
75	geotecnica in sito	CPT	PS	74
76	geotecnica in sito	CPT	PS	76
77	geotecnica in sito	CPT	PS	77
78	geotecnica in sito	CPT	PS	78
79	geotecnica in sito	CPT	PS	79
80	geotecnica in sito	CPT	PS	80
81	geotecnica in sito	CPT	PS	81
82	geotecnica in sito	CPT	PS	82
83	geotecnica in sito	CPT	PS	84
84	geotecnica in sito	CPT	PS	85
85	geotecnica in sito	CPT	PS	86
86	geotecnica in sito	CPT	PS	87
87	geotecnica in sito	CPT	PS	90
88	geotecnica in sito	CPT	PS	91
89	geotecnica in sito	CPT	PS	92
90	geotecnica in sito	CPT	PS	93
91	geotecnica in sito	CPT	PS	94
92	geotecnica in sito	CPT	PS	95
93	geotecnica in sito	CPT	PS	96
94	geotecnica in sito	CPT	PS	97
95	geotecnica in sito	CPT	PS	98
96	geotecnica in sito	CPT	PS	99
97	geotecnica in sito	CPT	PS	100
98	geotecnica in sito	CPT	PS	101
99	geotecnica in sito	CPT	PS	102
100	geotecnica in sito	CPT	PS	103
101	Idrogeologia	PA	PS	105
102	geotecnica in sito	S	PS	106
103	geotecnica in sito	CPT	PS	107
104	geotecnica in sito	CPT	PS	108
105	geotecnica in sito	CPT	PS	109
106	geotecnica in sito	CPT	PS	110
107	geotecnica in sito	CPT	PS	114
108	geotecnica in sito	CPT	PS	115
109	geotecnica in sito	CPT	PS	116
110	geotecnica in sito	CPT	PS	117
111	geotecnica in sito	CPT	PS	118
112	geotecnica in sito	CPT	PS	119
113	geotecnica in sito	CPT	PS	120
114	geotecnica in sito	CPT	PS	121
115	geotecnica in sito	CPT	PS	122
116	geotecnica in sito	CPT	PS	123
117	geotecnica in sito	CPT	PS	124
118	geotecnica in sito	CPT	PS	125
119	geotecnica in sito	CPT	PS	126
120	geotecnica in sito	CPT	PS	127

## INDAGINI PUNTUALI

121	geotecnica in sito	CPT	PS	128
122	Idrogeologia	PA	PS	129
123	Idrogeologia	PA	PS	131
124	Idrogeologia	PA	PS	132
125	Idrogeologia	PA	PS	133
126	geotecnica in sito	DP	PS	134
127	geotecnica in sito	DP	PS	135
128	geotecnica in sito	DP	PS	139
129	geotecnica in sito	CPT	PS	140
130	geotecnica in sito	CPT	PS	141
131	geotecnica in sito	DP	PS	142
132	geotecnica in sito	DP	PS	143
133	geotecnica in sito	DP	PS	144
134	Idrogeologia	PA	PS	145
135	geotecnica in sito	CPT	PS	146
136	geotecnica in sito	CPT	PS	147
137	geotecnica in sito	CPT	PS	148
138	geotecnica in sito	CPT	PS	149
139	geotecnica in sito	CPT	PS	150
140	geotecnica in sito	CPT	PS	151
141	geotecnica in sito	CPT	PS	152
142	Idrogeologia	PA	PS	153
143	geotecnica in sito	DP	PS	154
144	geotecnica in sito	CPT	PS	155
145	geotecnica in sito	CPT	PS	156
146	geotecnica in sito	CPT	PS	157
147	geotecnica in sito	CPT	PS	158
148	geotecnica in sito	CPT	PS	159
149	geotecnica in sito	CPT	PS	160
150	geotecnica in sito	CPT	PS	161
151	geotecnica in sito	CPT	PS	162
152	geotecnica in sito	CPT	PS	163
153	geotecnica in sito	CPT	PS	164
154	geotecnica in sito	CPT	PS	165
155	geotecnica in sito	CPT	PS	166
156	geotecnica in sito	CPT	PS	167
157	geotecnica in sito	CPT	PS	168
158	geotecnica in sito	CPT	PS	169
159	geotecnica in sito	CPT	PS	170
160	geotecnica in sito	CPT	PS	172
161	geotecnica in sito	CPT	PS	173
162	geotecnica in sito	CPT	PS	174
163	geotecnica in sito	CPT	PS	175
164	geotecnica in sito	CPT	PS	176
165	geotecnica in sito	DP	PS	177
166	geotecnica in sito	DP	PS	178
167	geotecnica in sito	DP	PS	179
168	geotecnica in sito	DP	PS	180
169	geotecnica in sito	DP	PS	181
170	geotecnica in sito	CPT	PS	182
171	geotecnica in sito	CPT	PS	183
172	geotecnica in sito	CPT	PS	185
173	geotecnica in sito	CPT	PS	186
174	geotecnica in sito	CPT	PS	187
175	geotecnica in sito	CPT	PS	188
176	geotecnica in sito	CPT	PS	189
177	geotecnica in sito	CPT	PS	190
178	geotecnica in sito	CPT	PS	191
179	geotecnica in sito	CPT	PS	192
180	geotecnica in sito	CPT	PS	193

## INDAGINI PUNTUALI

181	geotecnica in sito	CPT	PS	194
182	geotecnica in sito	CPT	PS	195
183	geotecnica in sito	CPT	PS	196
184	geotecnica in sito	CPT	PS	197
185	geotecnica in sito	CPT	PS	198
186	geotecnica in sito	CPT	PS	199
187	geotecnica in sito	CPT	PS	200
188	geotecnica in sito	CPT	PS	201
189	geotecnica in sito	CPT	PS	202
190	geotecnica in sito	CPT	PS	203
191	geotecnica in sito	CPT	PS	204
192	geotecnica in sito	CPTU	PS	205
193	geotecnica in sito	CPT	PS	207
194	geotecnica in sito	CPT	PS	208
195	geotecnica in sito	CPT	PS	209
196	geotecnica in sito	CPT	PS	210
197	geotecnica in sito	CPT	PS	211
198	geotecnica in sito	CPT	PS	212
199	geologia	SC	PS	213
200	geofisica	DH	PS	214
201	geotecnica in sito	CPT	PS	215
202	geotecnica in sito	CPT	PS	216
203	geotecnica in sito	CPT	PS	217
204	geotecnica in sito	CPT	PS	218
205	geotecnica in sito	CPT	PS	219
206	geotecnica in sito	CPT	PS	220
207	geotecnica in sito	CPT	PS	221
208	geotecnica in sito	CPT	PS	222
209	geotecnica in sito	CPT	PS	223
210	geotecnica in sito	CPT	PS	224
211	geotecnica in sito	CPT	PS	225
212	geotecnica in sito	CPT	PS	226
213	geotecnica in sito	CPT	PS	227
214	geotecnica in sito	CPT	PS	228
215	geotecnica in sito	CPT	PS	229
216	geotecnica in sito	CPT	PS	230
217	geotecnica in sito	CPT	PS	231
218	geotecnica in sito	CPT	PS	232
219	geotecnica in sito	CPT	PS	233
220	geotecnica in sito	CPT	PS	234
221	geotecnica in sito	CPT	PS	235
222	geotecnica in sito	CPT	PS	236
223	geotecnica in sito	CPT	PS	237
224	geotecnica in sito	CPT	PS	238
225	geotecnica in sito	CPT	PS	239
226	geotecnica in sito	CPT	PS	240
227	geotecnica in sito	CPT	PS	241
228	geotecnica in sito	CPT	PS	242
229	geotecnica in sito	CPT	PS	243
230	geotecnica in sito	CPT	PS	244
231	geotecnica in sito	CPT	PS	245
232	geotecnica in sito	CPT	PS	246
233	geotecnica in sito	CPT	PS	247
234	geotecnica in sito	CPT	PS	248
235	geotecnica in sito	CPT	PS	249
236	geotecnica in sito	CPT	PS	250
237	geotecnica in sito	CPT	PS	251
238	geotecnica in sito	CPT	PS	252
239	geotecnica in sito	CPT	PS	253
240	geotecnica in sito	CPT	PS	254

INDAGINI PUNTUALI

241	geotecnica in sito	CPT	PS	255
242	geotecnica in sito	CPT	PS	256
243	geotecnica in sito	CPT	PS	257
244	geotecnica in sito	CPT	PS	258
245	geotecnica in sito	CPT	PS	259
246	geotecnica in sito	CPT	PS	260
247	geotecnica in sito	CPT	PS	261
248	geotecnica in sito	CPT	PS	262
249	geotecnica in sito	CPT	PS	263
250	geotecnica in sito	CPT	PS	264
251	geotecnica in sito	CPT	PS	265
252	geotecnica in sito	CPT	PS	266
253	geotecnica in sito	CPT	PS	267
254	geotecnica in sito	CPT	PS	271
255	geotecnica in sito	CPT	PS	272
256	geotecnica in sito	CPT	PS	273
257	geotecnica in sito	CPT	PS	274
258	geotecnica in sito	CPT	PS	275
259	geotecnica in sito	CPT	PS	276
260	geologia	S	PS	280
261	geotecnica in sito	CPT	PS	283
262	geotecnica in sito	CPT	PS	284
263	geotecnica in sito	CPT	PS	285
264	geotecnica in sito	CPT	PS	287
265	geotecnica in sito	CPT	PS	288
266	geotecnica in sito	CPT	PS	289
267	geotecnica in sito	CPT	PS	290
268	geotecnica in sito	CPT	PS	291
269	geotecnica in sito	DP	PS	292
270	geotecnica in sito	CPT	PS	293
271	geotecnica in sito	CPT	PS	294
272	geotecnica in sito	CPT	PS	297
273	geotecnica in sito	CPT	PS	298
274	geologia	S	PS	299
275	geotecnica in sito	CPT	PS	300
276	geotecnica in sito	CPT	PS	301
277	geotecnica in sito	CPT	PS	302
278	geotecnica in sito	CPT	PS	303
279	geotecnica in sito	CPT	PS	304
280	geotecnica in sito	CPT	PS	305
281	geotecnica in sito	CPT	PS	306
282	geotecnica in sito	CPT	PS	307
283	geotecnica in sito	CPT	PS	308
284	geotecnica in sito	CPT	PS	309
285	geotecnica in sito	CPT	PS	310
286	geotecnica in sito	CPT	PS	311
287	geotecnica in sito	CPT	PS	312
288	geotecnica in sito	CPT	PS	313
289	geotecnica in sito	CPT	PS	314
290	geotecnica in sito	CPT	PS	315
291	geotecnica in sito	CPT	PS	316
292	geotecnica in sito	CPT	PS	317
293	geotecnica in sito	CPT	PS	318
294	geotecnica in sito	CPT	PS	319
295	geotecnica in sito	CPT	PS	320
296	geofisica	HVSR	PS	322
297	geotecnica in sito	CPTU	PS	325
298	geotecnica in sito	CPTU	PS	326
299	geotecnica in sito	CPTU	PS	327
300	geologia	S	PS	328



## INDAGINI PUNTUALI

301	geotecnica in sito	CPT	PS	330
302	geotecnica in sito	CPT	PS	331
303	geologia	SC	PS	332
304	geologia	SC	PS	333
305	geotecnica in sito	CPT	PS	335
306	geotecnica in sito	CPT	PS	336
307	geotecnica in sito	CPT	PS	337
308	geotecnica in sito	CPT	PS	338
309	geofisica	DH	PS	339
310	geotecnica in sito	CPT	PS	340
311	geotecnica in sito	CPT	PS	341
312	geotecnica in sito	CPT	PS	343
313	geotecnica in sito	CPTU	PS	345
314	geofisica	HVSR	PS	347
315	geofisica	HVSR	PS	348
316	geologia	SC	PS	349
317	geologia	SC	PS	350
318	geologia	SC	PS	351
319	geologia	SC	PS	352
320	geologia	SC	PS	353
321	geologia	SC	PS	354
322	geologia	SC	PS	355
323	geofisica	HVSR	PS	361
324	geofisica	HVSR	PS	362
325	geofisica	HVSR	PS	363
326	geofisica	HVSR	PS	364
327	geofisica	HVSR	PS	365
328	geofisica	HVSR	PS	366
329	geofisica	HVSR	PS	367
330	geofisica	HVSR	PS	368
331	geofisica	HVSR	PS	369
332	geofisica	HVSR	PS	370
333	geofisica	HVSR	PS	371
334	geofisica	HVSR	PS	372
335	geofisica	HVSR	PS	373
336	geofisica	HVSR	PS	374
337	geofisica	HVSR	PS	375
338	geofisica	HVSR	PSI	01
339	geofisica	HVSR	PSI	02
340	geofisica	HVSR	PSI	03
341	geofisica	HVSR	PSI	4
342	geofisica	HVSR	PSI	05
343	geofisica	HVSR	PSI	06
344	geofisica	HVSR	PSI	07
345	geofisica	HVSR	PSI	08
346	geofisica	HVSR	PSI	09
347	geofisica	HVSR	PSI	10
348	geofisica	HVSR	PSI	11
349	geofisica	HVSR	PSI	12
350	geofisica	HVSR	PSI	14
351	geofisica	HVSR	PSI	15
352	geofisica	HVSR	PSI	16
353	geofisica	HVSR	PSI	17
354	geofisica	HVSR	PSI	13
355	geofisica	HVSR	PSI	18
356	geofisica	HVSR	PSI	25
357	geotecnica in sito	CPTU	MS2	CPTU 01
358	geotecnica in sito	CPTU	MS2	CPTU 02
359	geotecnica in sito	CPTU	MS2	CPTU 03
360	geotecnica in sito	CPTU	MS2	CPTU 04

**INDAGINI PUNTUALI**

361	geotecnica in sito	CPTU	MS2	CPTU 05
362	geotecnica in sito	CPTU	MS2	CPTU 06
363	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 01
364	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 02
365	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 03
366	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 04
367	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 05
368	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 06
369	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 07
370	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 08
371	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 09
372	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 10
373	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 11
374	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 12
375	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 13
376	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 14
377	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 15
378	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 16
379	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 17
380	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 18
381	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 19
382	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 20
383	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 21
384	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 22
385	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 23
386	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 24
387	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 25
388	geofisica	HVSR	MS2	HVSR 26
389	geofisica	HVSR	MS2	HVSR27 ES1
390	geofisica	HVSR	MS2	HVSR28ES3
391	geofisica	HVSR	MS2	HVSR29MW1
392	geofisica	HVSR	MS2	HVSR30MW2
393	geofisica	ESAC	MS2	ESAC 01
394	geofisica	ESAC	MS2	ESAC 02
395	geofisica	ESAC	MS2	ESAC 03
396	geofisica	ESAC	MS2	ESAC 04
397	geofisica	ESAC	MS2	ESAC 05
398	Idrogeologia	PA	ISPRA	191850
399	Idrogeologia	PA	ISPRA	191854
400	Idrogeologia	PA	ISPRA	191848
401	Idrogeologia	PA	ISPRA	192728
402	Idrogeologia	PA	ISPRA	191839
403	Idrogeologia	PA	ISPRA	191847
404	Idrogeologia	PA	ISPRA	191844
405	Idrogeologia	PA	ISPRA	154205
406	Idrogeologia	PA	ISPRA	154207
407	Idrogeologia	PA	ISPRA	191845
408	Idrogeologia	PA	ISPRA	191840
409	Idrogeologia	PA	ISPRA	191843
410	Idrogeologia	PA	ISPRA	191856
411	Idrogeologia	PA	ISPRA	191852
412	geofisica	HVSR	PSI	24
413	elaborazioni	SMS	MS2	zona MOPS-2001
414	elaborazioni	SMS	MS2	zona MOPS 2002
415	elaborazioni	SMS	MS2	zona MOPS-2003
416	elaborazioni	SMS	MS2	zona MOPS-2004
417	elaborazioni	SMS	MS2	zona MOPS-2005
418	elaborazioni	SMS	MS2	zona MOPS-2006
419	elaborazioni	SMS	MS2	zona MOPS-2007

---

**ALLEGATO 1 - Report indagini geofisiche studio MS1**

---



Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. IT12/0149  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



**PROVINCIA DI PISA  
COMUNE DI CALCINAIA**

**INDAGINI GEOFISICHE  
STUDIO DI MICROZONAZIONE  
SISMICA DI LIVELLO 1**

**INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE IN ONDE P ED SH**

**INDAGINI SISMICHE MASW**

**INDAGINI SISMICHE HVSR**

Dott. Jacopo Martini

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano  
Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582

e-mail: info@gaiaservizi.com

p. IVA 01667250508

Data: Maggio 2012

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vantozzi & C.  
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167



Pagina 1 di 114

Codifica: PR 7.5 01\_11 Rev. 1 del 11/2011

## Sommario

PREMESSA.....	3
INDAGINI SISMICHE MASW .....	4
METODO MASW – GENERALITA' .....	4
SISTEMA DI ACQUISIZIONE .....	5
ELABORAZIONE DEI DATI .....	6
ANALISI DELLE INDAGINI EFFETTUATE.....	7
INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR.....	46
INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR - GENERALITA'.....	46
SISTEMA DI ACQUISIZIONE .....	49
ELABORAZIONE DEI DATI .....	49
ANALISI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR.....	96
INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE .....	97
SISMICA A RIFRAZIONE - GENERALITA' .....	97
SISTEMA DI ACQUISIZIONE .....	98
ELABORAZIONE DEI DATI .....	106
ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROSPEZIONI SISMICHE .....	106

## Allegati

All 1 Planimetrie scala 1:5.000 e scala 1:1000 con ubicazione delle indagini sismiche MASW

All 2 Planimetrie scala 1:10.000 con ubicazione delle indagini sismiche HVSR

All 3 Planimetrie scala 1:5.000 e scala 1:1000 con ubicazione delle indagini sismiche a rifrazione

All 4 RegISTRAZIONI di campagna delle indagini sismiche a rifrazione

All 5 Tabulati, dromocrone e sezioni sismo stratigrafiche delle indagini sismiche a rifrazione

All 6 Sezioni litostratigrafiche interpretative delle indagini sismiche a rifrazione

CD

## PREMESSA

Per incarico dell' Amministrazione Comunale di Calcinaia, è stata effettuata una campagna geognostica attraverso l'esecuzione di n°5 prospezioni sismiche a rifrazione a mezzo di onde P ed SH, N° 9 indagini sismiche MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), N°15 indagini sismiche HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

La campagna di indagini geofisiche eseguita è finalizzata alla redazione dello studio di microzonazione sismica (MS) di livello 1 nell'ambito delle indagini geologiche di supporto alla variante generale al Piano Strutturale, come previsto dal DPGR n.53/R del 27 aprile 2007 "Regolamento di Attuazione dell' Art.62 della LR n. 1/2005 in materia di indagini geologiche", secondo le specifiche contenute Allegato A "DIRETTIVE PER LE INGAGINI GEOLOGICHE" (cfr. §2.B.1, §2.B.7.§2.C.5).

Lo studio e le indagini geofisiche sono state condotte secondo le specifiche tecniche contenute nell' OPCM n. 3907 del 13.11.2010, e in generale, negli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale ICMS, alle Istruzioni Tecniche del Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana, nonché alle indicazioni contenute nel Volume di Ingegneria Sismica 2/2011.

Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

## INDAGINI SISMICHE MASW

### *METODO MASW - GENERALITA'*

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love) fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980 ) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo (Zywicki, D.J. 1999) o in una combinazione di entrambi. Nel metodo attivo le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e si misura il rumore ambientale di fondo esistente. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo. Il metodo passivo in genere consente di tracciare una velocità di fase apparente sperimentale compresa tra 0 Hz e 10Hz, quindi dà informazioni sugli strati più profondi del suolo, generalmente al di sotto dei 50m, in funzione della rigidità del suolo.

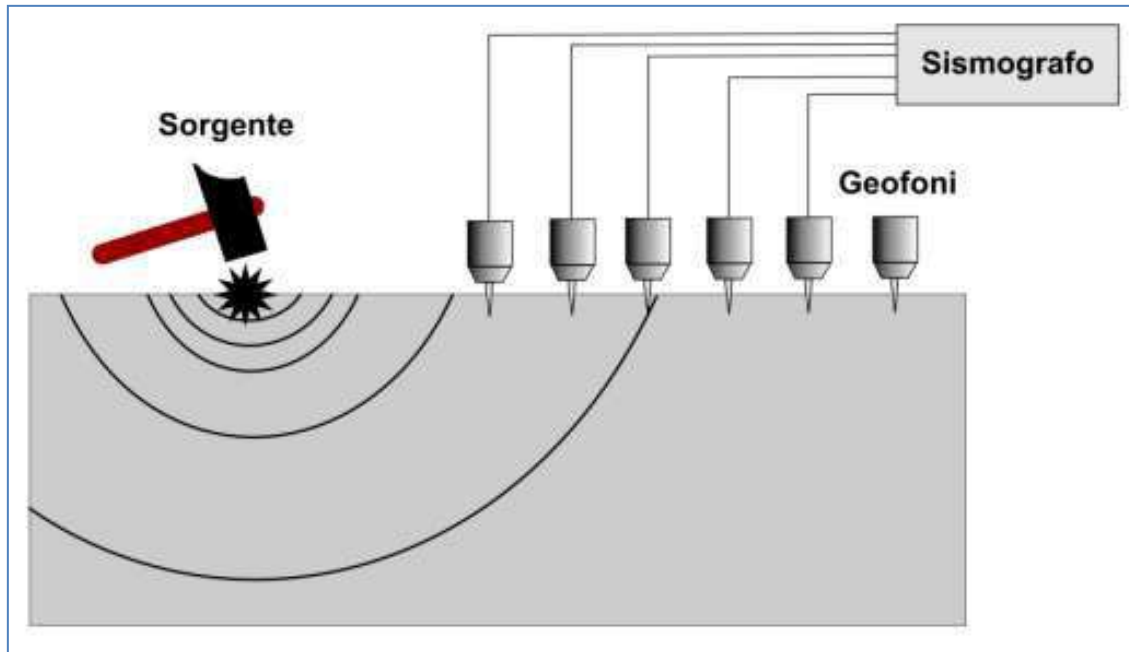
Negli ultimi decenni l'analisi delle onde di superficie si è dimostrata un utile strumento per la determinazione del profilo verticale VS non più solamente per studi di carattere crostale (e.g. Evison et al., 1959) ma anche per indagini *near surface* (Stokoe et al., 1988; Glangaud et al., 1999; Park et al., 1999; Xia et al., 1999; 2004; Shtivelman, 1999; 2002; Foti et al., 2000; Louie, 2001; O'Neill et al., 2006; Dal Moro et al., 2007; Dal Moro & Pipan, 2007).

La sismica a rifrazione ad onde di corpo (P ed S) ha così trovato una valida integrazione, in grado di superare i limiti connessi al canale a bassa velocità (*Low Velocity Layer - LVL*) ed allo strato nascosto (*blind layer*).

Nel seguito faremo riferimento al metodo MASW attivo che consente la classificazione sismica dei suoli, perché fornisce il profilo di velocità entro i primi 30m di profondità.

## **SISTEMA DI ACQUISIZIONE**

Per l'acquisizione dei dati per indagini MASW deve essere effettuato uno stendimento di geofoni (a componente verticale per l'analisi delle onde di Rayleigh o a componente orizzontale per le onde di Love) allineati con la sorgente ed utilizzare una sorgente ad impatto verticale per generare onde di Rayleigh e/o una "di taglio" per quelle di Love (vedi Figura 2).



**Esempio schematico di stendimento sismico tipo MASW**

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico AMBROGEO modello Echo 24/2002 a 16 bit.

Come sorgente energizzante è stato utilizzato un grave di circa 90 kg ed in alcuni casi un grave da 20 kg.

Il trigger consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

Sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Geospace Oyo con frequenza propria di 4.5 Hz.



## ***ELABORAZIONE DEI DATI***

I dati acquisiti sono stati elaborati utilizzando il software *winMASW Academy*.

L'elaborazione dei dati si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. importazione dei files acquisiti in campagna (files SEG Y)
2. calcolo dello spettro di velocità (che rappresenta, in scala colorimetrica, le ampiezze delle onde in funzione della velocità di fase e della frequenza)
3. identificazione ed il picking della curva di dispersione
4. inversione delle curve di dispersione per individuare i profili di velocità delle onde di taglio

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta.

La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli "algoritmi genetici", il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana. E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una "modellazione diretta" di ausilio a un corretto "picking" della curva di dispersione.

L'inversione delle curve di dispersione può essere eseguita con procedura manuale ("modellazione diretta"), con procedura automatica.

Nella procedura manuale l'utente assegna, per tentativi, diversi valori delle velocità  $V_s$  e degli spessori  $h$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale individuabile dallo spettro. Lo scopo è ottenere una valutazione di un possibile modello rispetto allo spettro osservato.

La procedura automatica consiste nell' inversione delle curve di dispersione a partire da uno spazio di ricerca (valori di  $V_s$  e spessori all'interno dei quali si cerca la soluzione ottimale), definito in modo automatico dal programma e corretto sulla base delle conoscenze geologiche e geofisiche del sito note a priori. La ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad una solida tecnica di ottimizzazione che si rifà ai cosiddetti algoritmi genetici che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$  è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30m di profondità ( $V_{s30}$ ) e quindi individuare la categoria sismica del suolo.

L'elaborazione è stata effettuata a partire da un modello ricostruito per modellazione diretta, basandosi anche su dati litostratigrafici disponibili nell'area. Tale modello è stato poi utilizzato per l'inversione, a partire dai punti che si ritengono appartenere alla curva di dispersione relativa al modo fondamentale di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh.

### ***ANALISI DELLE INDAGINI EFFETTUATE***

Sono state eseguite n°9 prospezioni sismiche tipo MASW in onde di Rayleigh.

E' stata eseguita una prima campagna di indagine attraverso la realizzazione di stendimenti con 24 geofoni e interasse 2m, per una lunghezza di 46ml.

In molte delle indagini effettuate la profondità di investigazione non era soddisfacente per cui, dove possibile e dove necessario, sono state ripetute le linee attraverso la realizzazione di stendimenti con interasse 3m per una lunghezza di 69ml.

Tale configurazione ha permesso di ottenere una profondità di indagine prossima ai 30m per tutti gli stendimenti effettuati.



**Figura 1: Sistema di energizzazione da 90 kg**

Le acquisizioni sono state eseguite in base alle seguenti configurazioni:

<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 1</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1627726 ; 4836820
Orientazione	N030
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1:5m, 8m ; G24:5m, 8m
Sorgente	massa battente da 90kg



**Figura 2: Stendimento sismico MASW 1**

<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 2</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1629177 ; 4836092
Orientazione	N000
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2m e 3m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1:5m, 6m, 8m ; G24:5m, 6m, 8m
Sorgente	grave di circa 90 kg



Figura 3: Stendimento sismico MASW 2

<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 3</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1626760 ; 4836532
Orientazione	N270
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2m e 3m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1:5m, 6m, 8m ; G24:5m, 6m, 8m
Sorgente	grave di circa 90 kg



Figura 4: Stendimento sismico MASW 3

<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 4</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1627543 ; 4836005
Orientazione	N100
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2m e 3m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1:5m, 6m, 8m ; G24:5m, 6m, 8m
Sorgente	grave di circa 90 kg



Figura 5: Stendimento sismico MASW 4

<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 5</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1630043 ; 4837477
Orientazione	N210
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2m e 3m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1:5m, 6m, 8m ; G24:5m, 6m, 8m
Sorgente	grave di circa 90 kg



Figura 6: Stendimento sismico MASW 5

<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 6</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1630446 ; 4838095
Orientazione	N240
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1:5m, 8m ; G24:5m, 8m
Sorgente	grave di circa 90 kg



Figura 7: Stendimento sismico MASW 6



<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 7</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1630181 ; 4840330
Orientazione	N210
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2m e 3m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1:5m, 6m, 8m ; G24:5m, 6m, 8m
Sorgente	grave di circa 90 kg



Figura 8: Stendimento sismico MASW 7

<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 8</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1630415 ; 4839486
Orientazione	N020
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	2m e 3m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1:5m, 6m, 8m ; G24:5m, 6m, 8m ;
Sorgente	grave di circa 90 kg



Figura 9: Stendimento sismico MASW 8

<b>CONFIGURAZIONE INDAGINE MASW 9</b>	
Coordinate Gauss-Boaga del centro dello stendimento	1627009 ; 4836786
Orientazione	N140
N° geofoni	24 (verticali Geospace Oyo 4.5 Hz)
Interasse geofoni	3m
Off-sets sorgente (da ciascun estremo)	G1: 6m ; G24: 6m
Sorgente	grave di circa 90 kg



Figura 10: Stendimento sismico MASW 9

Nelle pagine seguenti vengono presentati i risultati ottenuti dalle elaborazioni delle indagini MASW effettuate.

Nelle figure 12-15-18-21-24-27-30-33-36 sono riportate diverse informazioni: in alto a sinistra sono presentati i dati osservati (*picking*), la curva del modello "migliore" e quella del modello medio (molto spesso le due curve sono sovrapposte e quindi indistinguibili); in basso il "grafico *misfit*-generazione", il quale dà evidenza del miglioramento del modello al procedere delle generazioni; sulla destra il profilo verticale della Vs in funzione della profondità.

I modelli presentati come soluzione sono due: il modello "migliore" (*fittest model*) in termini di minor *misfit*, cioè discrepanza tra curva osservata e calcolata e un modello medio (*mean model*) calcolato secondo un'operazione statistica nota come MPPD (*Marginal Posterior Probability Density - "Rayleigh Wave Dispersion Curve Inversion via Genetic Algorithms and Posterior Probability Density Evaluation"* – Dal Moro et al., 2006). I due modelli solitamente non differiscono in modo significativo; ad ogni modo si ritiene preferibile prendere come risultato finale il modello medio (*mean model*).

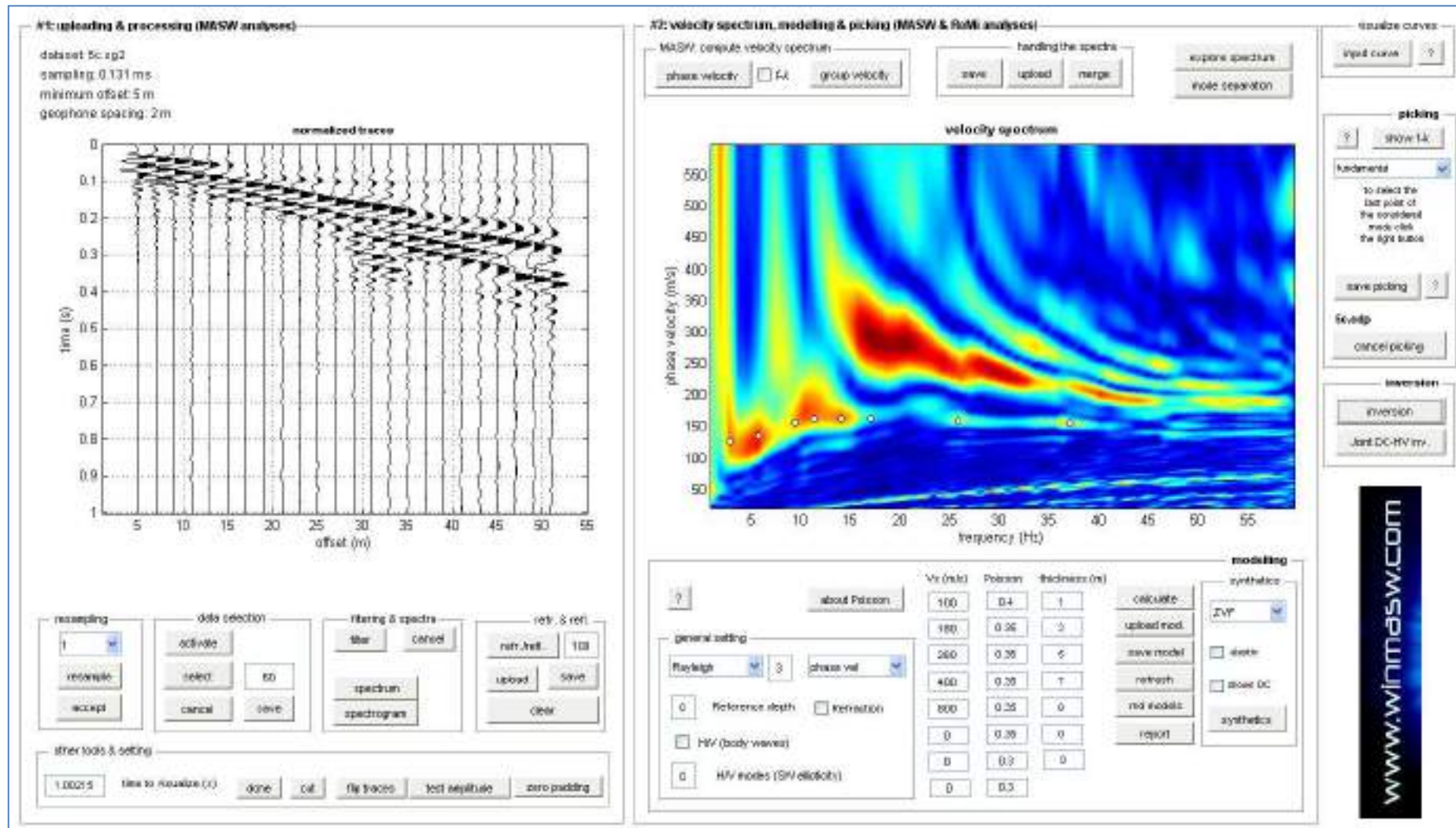


Figura 11: Indagine MASW1: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 5m su G1)

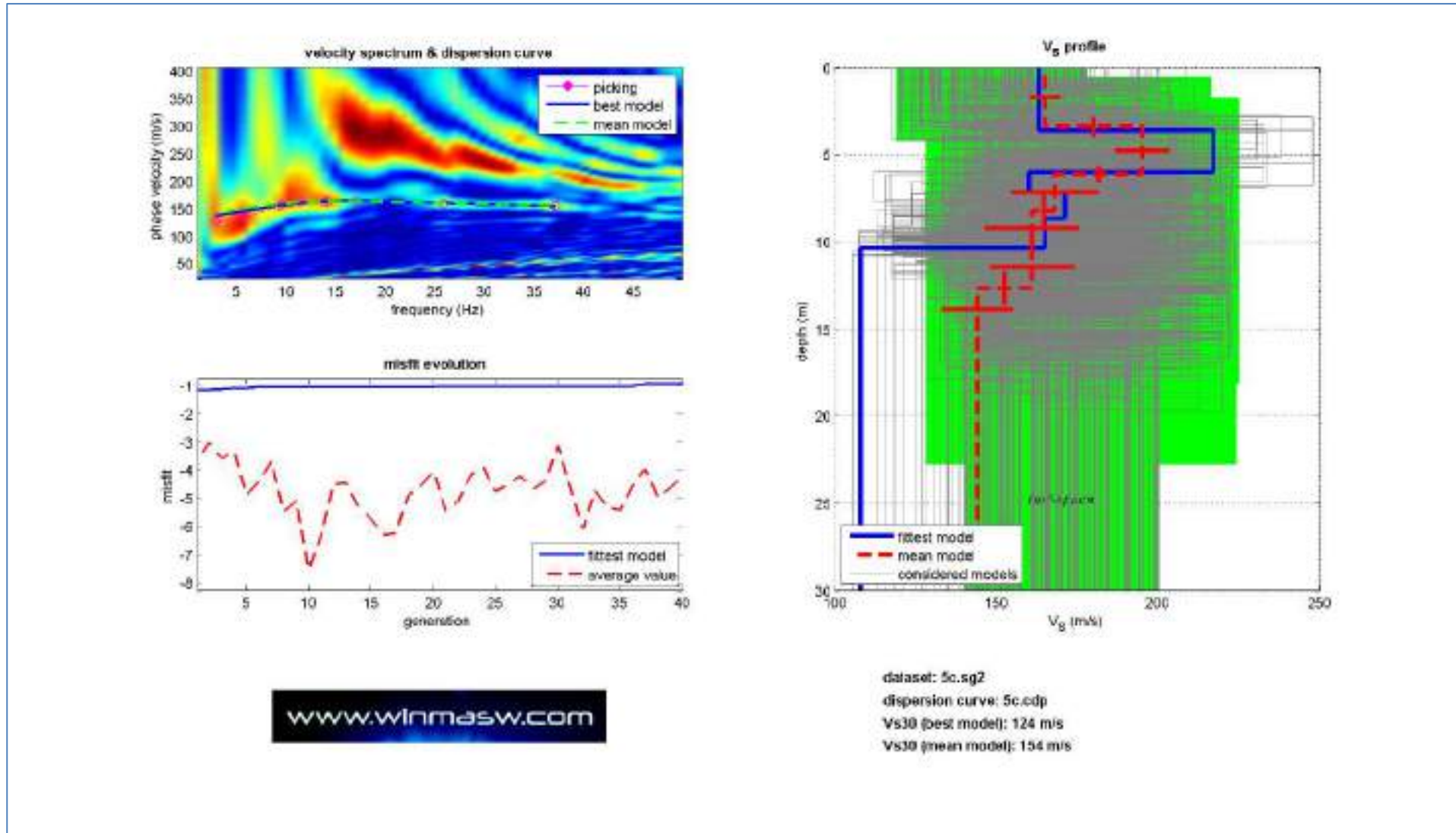


Figura 12: *Indagine MASW1*: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale  $V_s$  identificato; grafico *misfit*-generazione (*off-set 5m su G1*)

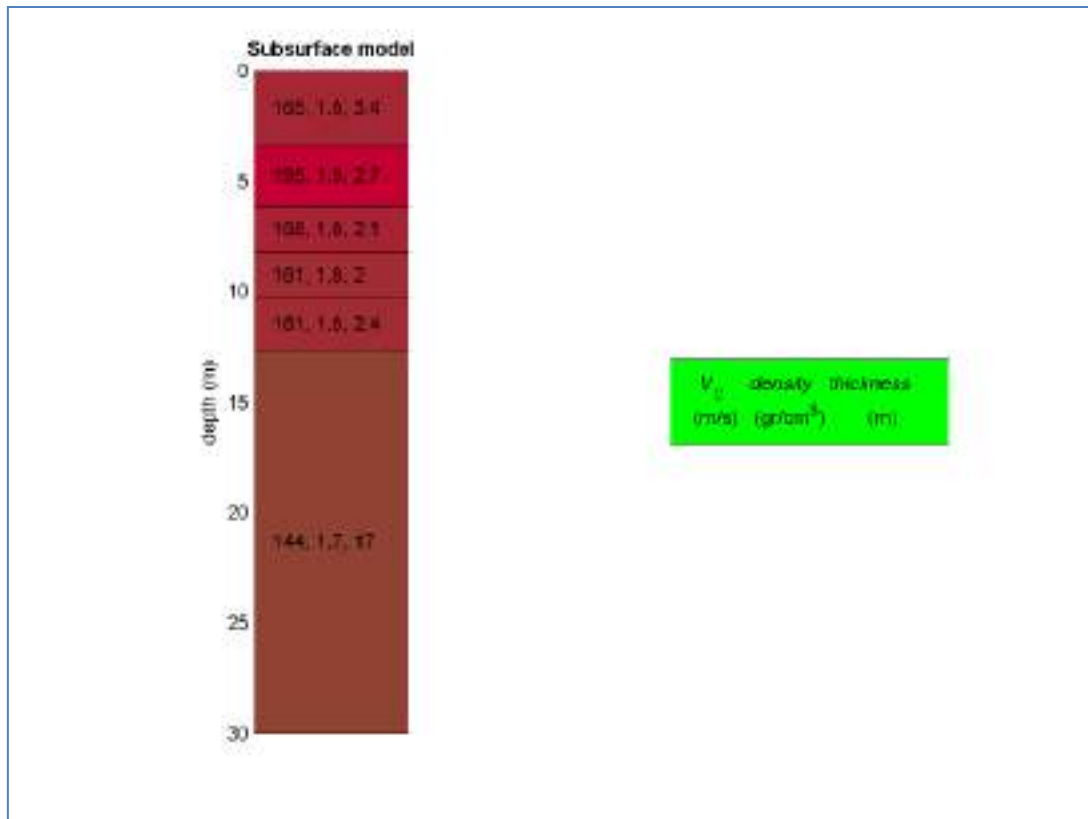


Figura 13: Indagine MASW1: Modello sismo stratigrafico

**MASW1: Modello medio**

Vs (m/s): 165, 195, 168, 161, 161, 144  
 Standard deviations (m/s): 5, 8, 13, 14, 13, 11  
 Thickness (m): 3.4, 2.7, 2.1, 2.0, 2.4  
 Standard deviations (m/s): 0.6, 0.5, 1.0, 0.7, 0.9

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.80, 1.87, 1.79, 1.81, 1.80, 1.67  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 49 71 51 47 47 35

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 5c.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 351, 458, 337, 367, 349, 203  
 Poisson: 0.36 0.39 0.33 0.38 0.36 -0.01

Vs30 (m/s): 154

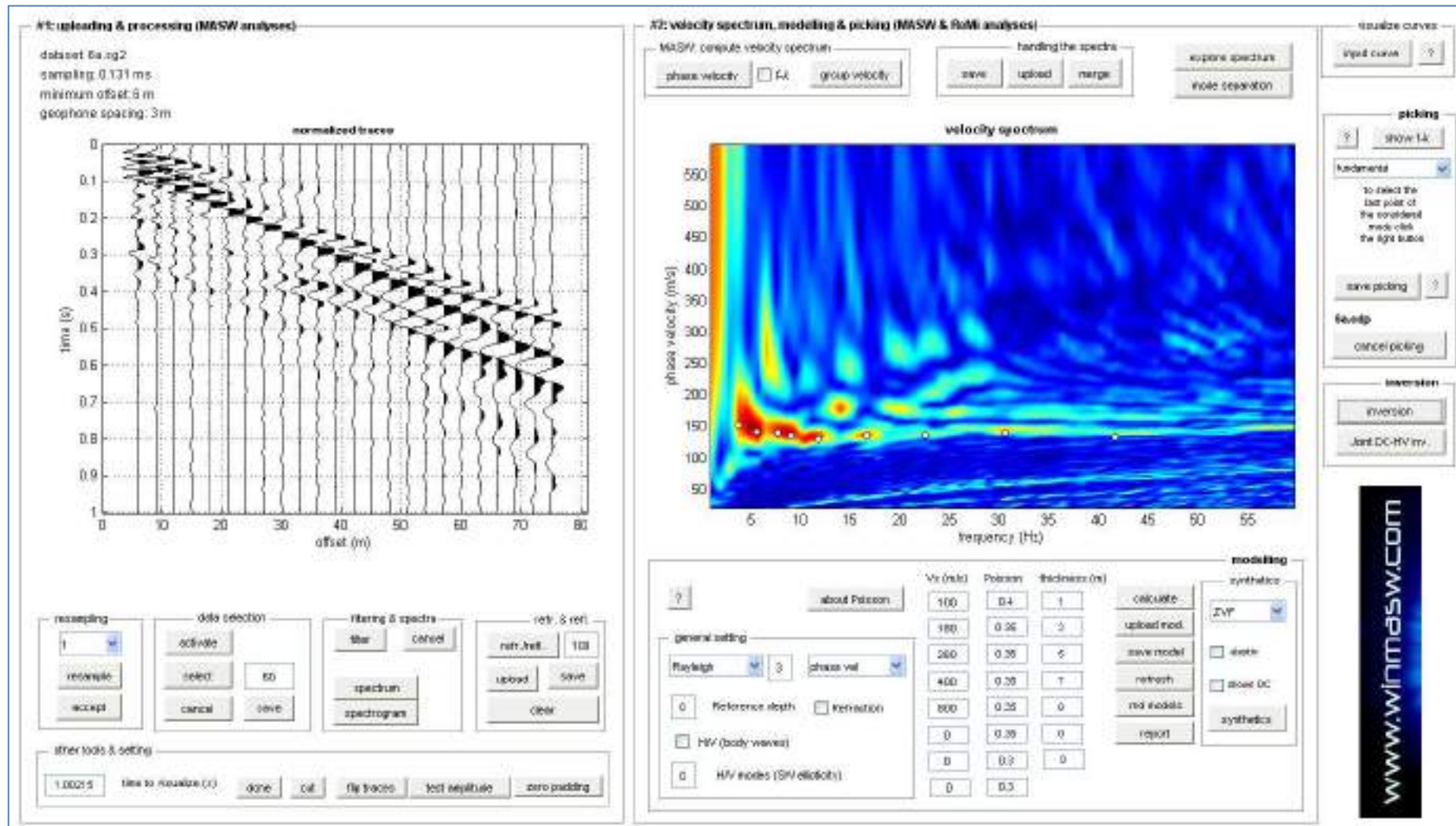


Figura 14: Indagine MASW2: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 6m su G1)



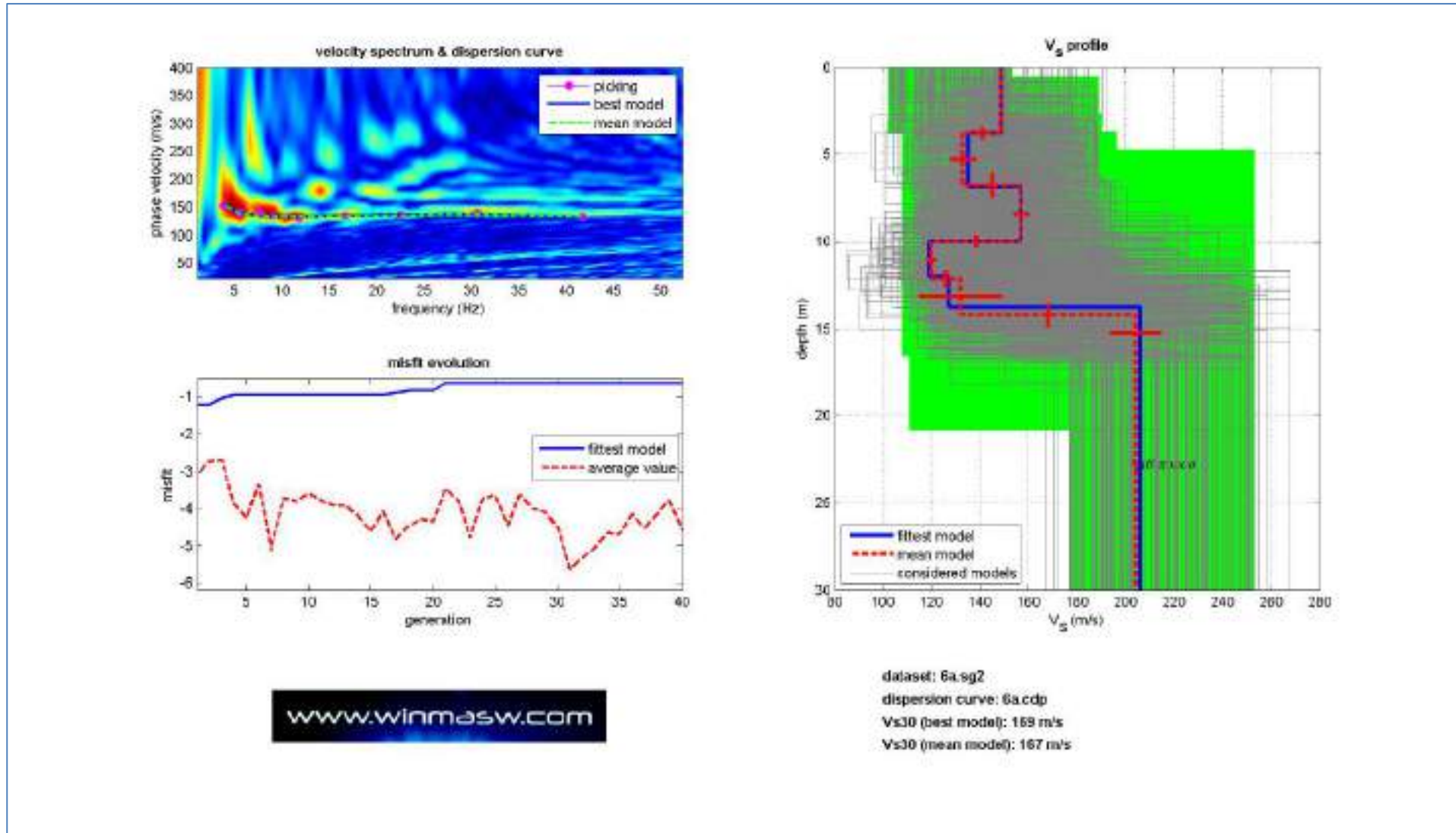


Figura 15: *Indagine MASW2*: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale  $V_s$  identificato; grafico *misfit*-generazione (*off-set 6m su G1*)

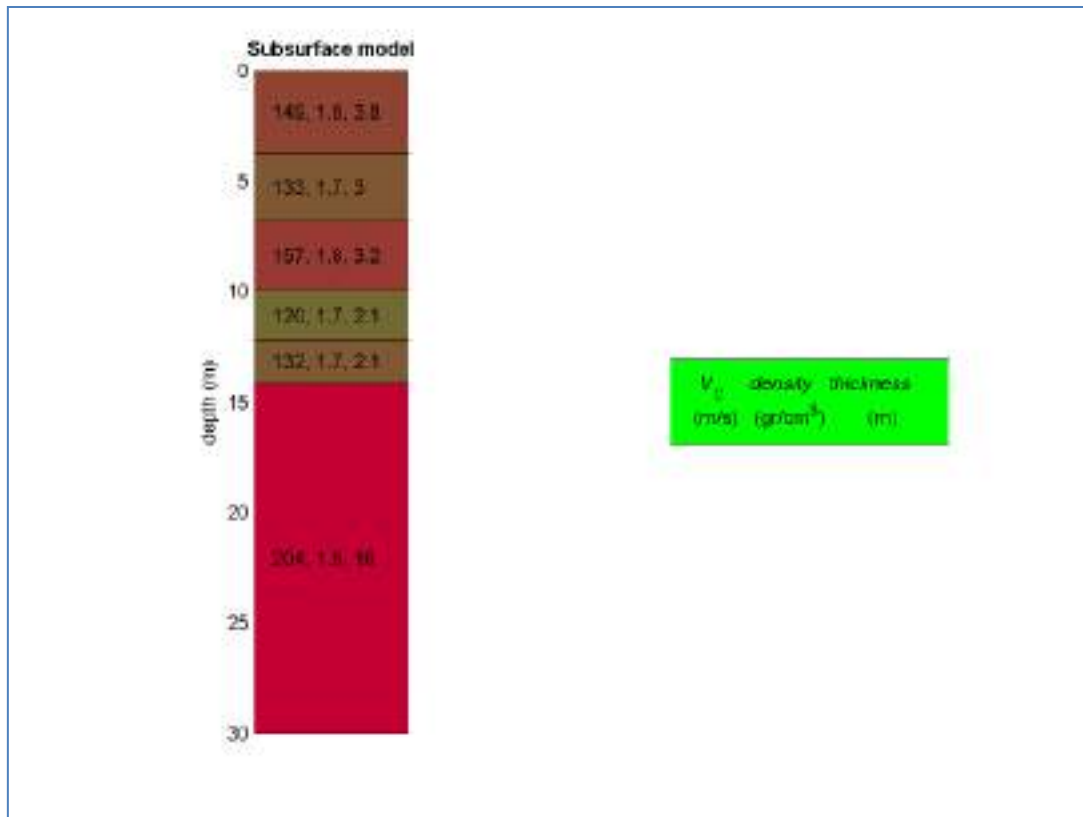


Figura 16: Indagine MASW2: Modello sismo stratigrafico

**MASW2: Modello medio**

Vs (m/s): 149, 133, 157, 120, 132, 204  
 Standard deviations (m/s): 0, 6, 3, 2, 17, 10  
 Thickness (m): 3.8, 3.0, 3.2, 2.1, 2.1  
 Standard deviations (m/s): 0.3, 0.7, 0.4, 0.5, 0.7

Density (gr/cm<sup>3</sup>) (approximate values): 1.78, 1.75, 1.79, 1.72, 1.74, 1.83  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 40 31 44 25 30 76

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 6a.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 321, 279, 335, 248, 269, 394  
 Poisson: 0.36 0.35 0.36 0.35 0.34 0.32

Vs30 (m/s): 167

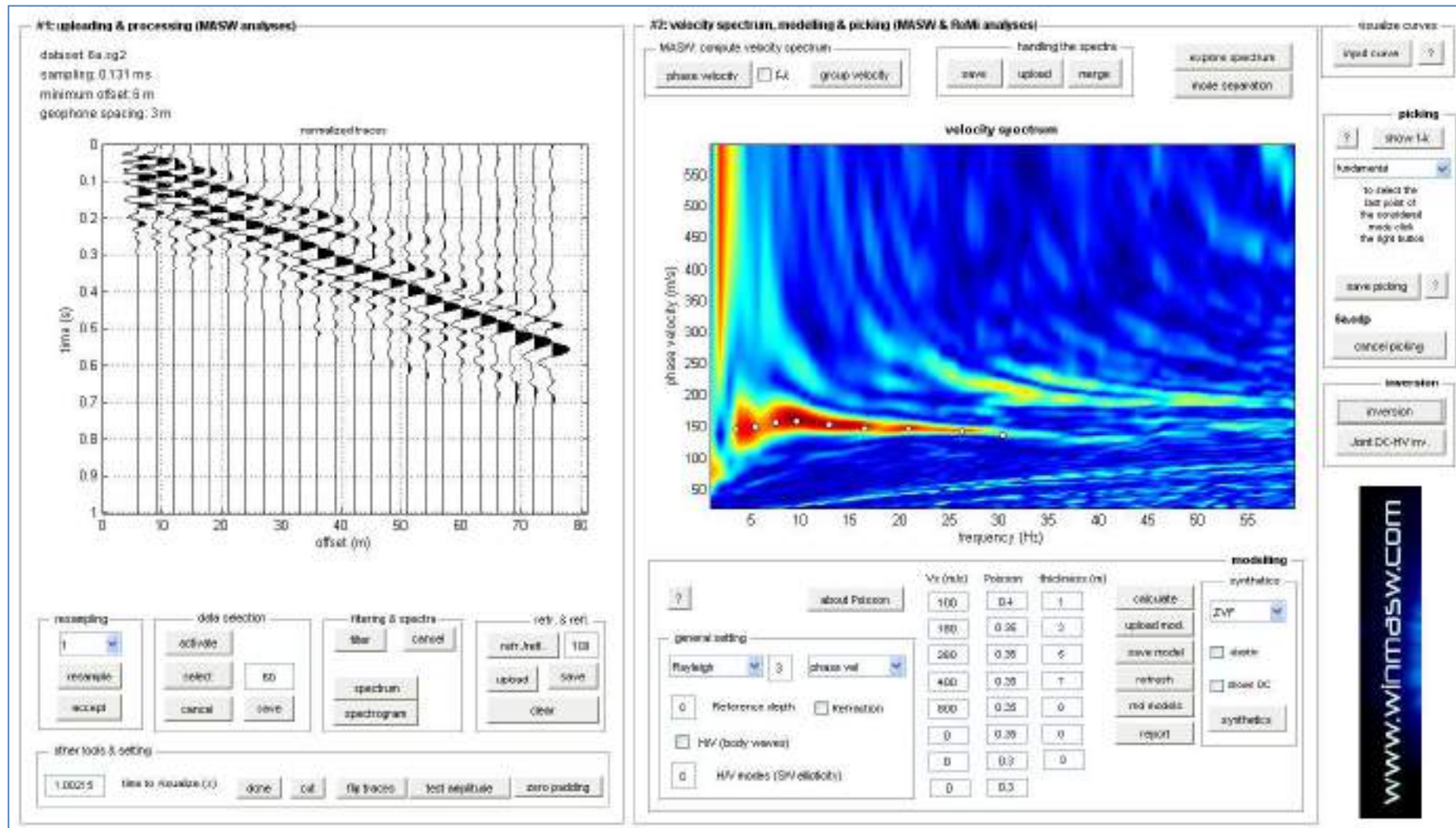


Figura 17: Indagine MASW3: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 6m su G1)

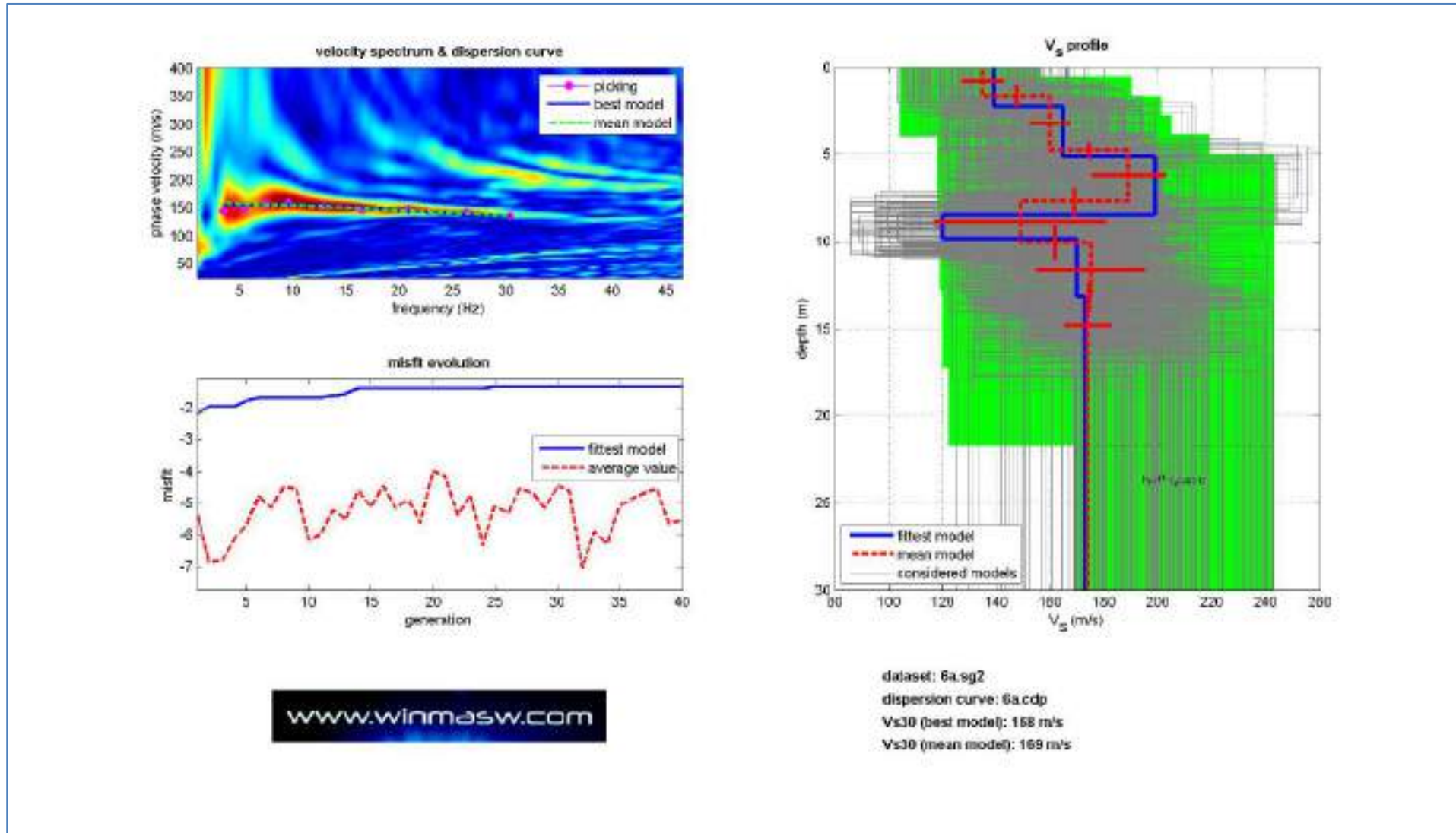


Figura 18: *Indagine MASW3*: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale Vs identificato; grafico *misfit*-generazione (*off-set 6m su G1*)

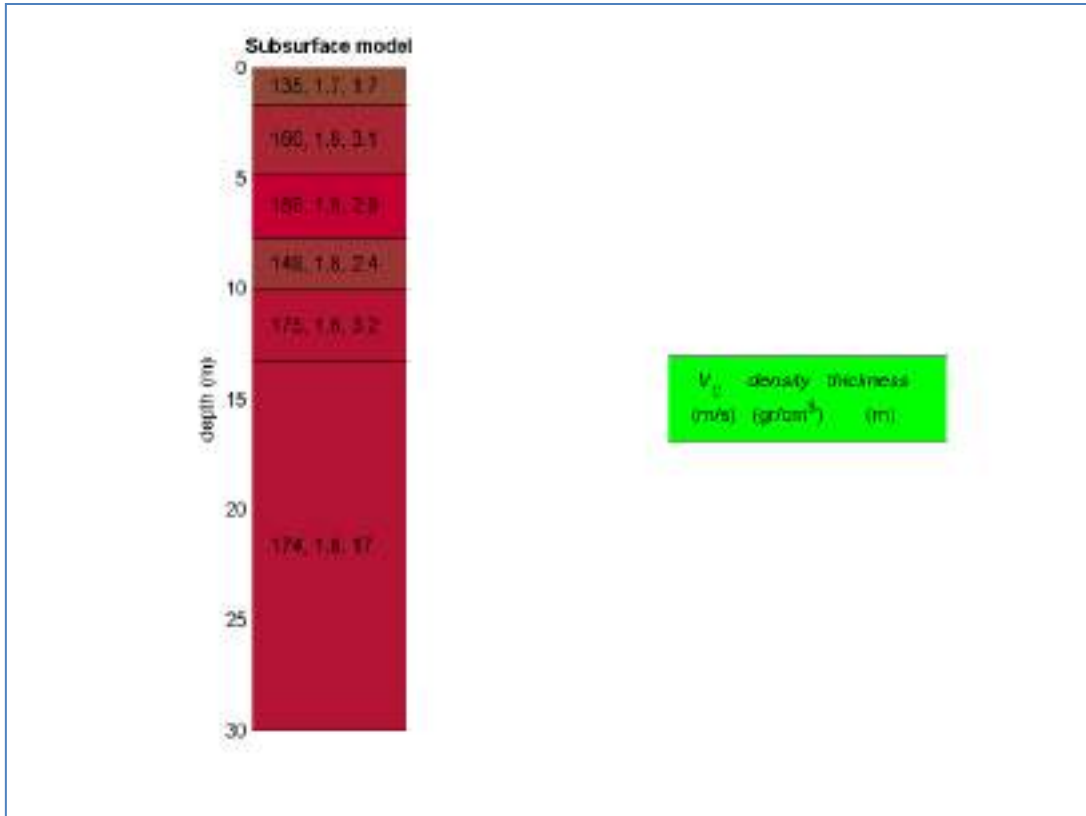


Figura 19: Indagine MASW3: Modello sismo stratigrafico

**MASW3: Modello medio**

Vs (m/s): 135, 160, 189, 149, 175, 174  
 Standard deviations (m/s): 8, 7, 14, 32, 20, 9  
 Thickness (m): 1.7, 3.1, 2.9, 2.4, 3.2  
 Standard deviations (m/s): 0.6, 0.4, 0.8, 1.0, 0.8

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.75 1.79 1.83 1.77 1.81 1.78  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 32 46 65 39 55 54

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 6a.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 281 333 393 310 364 326  
 Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

Vs30 (m/s): 169

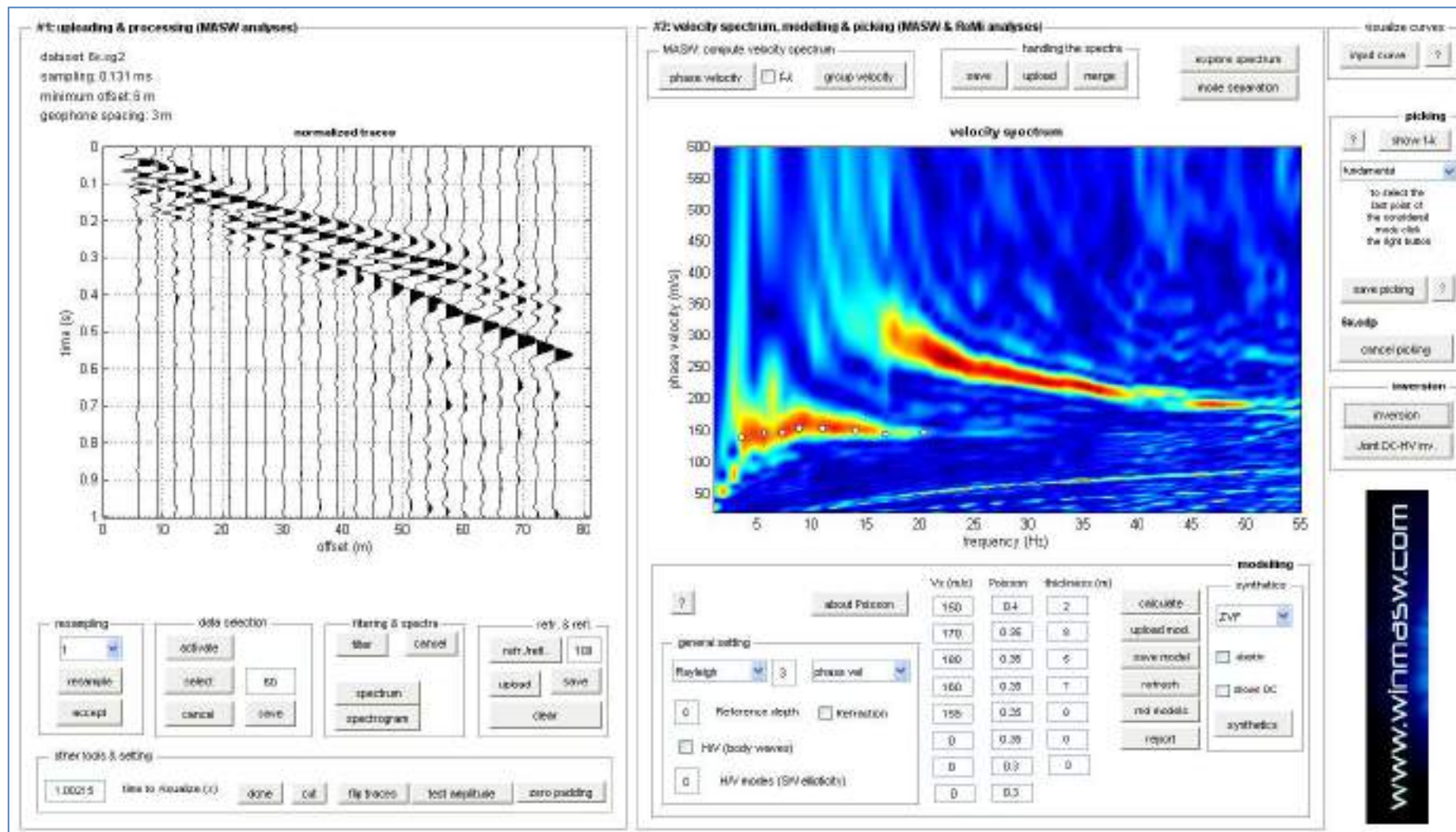


Figura 20: Indagine MASW4: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 6m su G1)

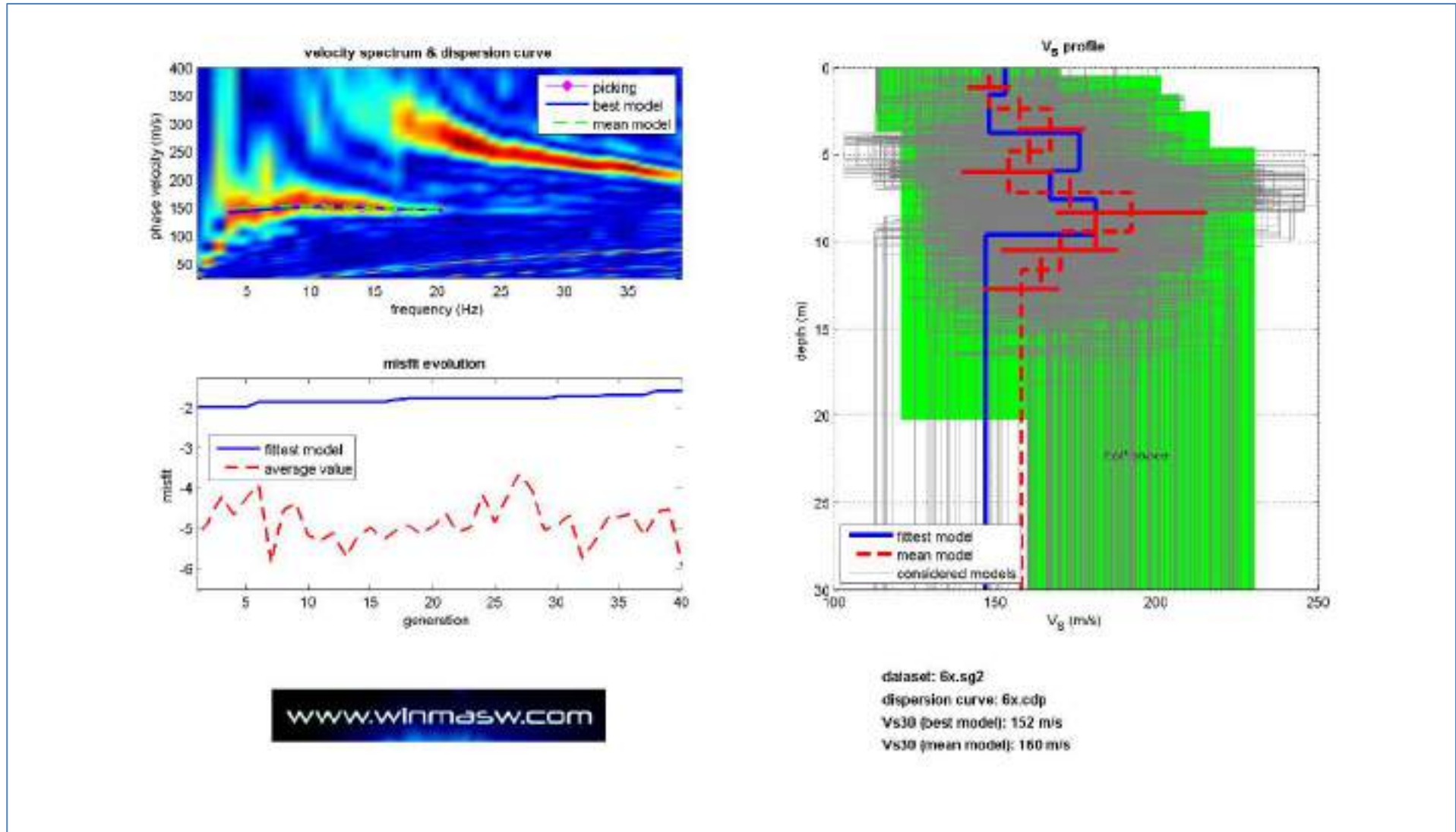


Figura 21: *Indagine MASW4*: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale  $V_s$  identificato; grafico *misfit*-generazione (*off-set 6m su G1*)

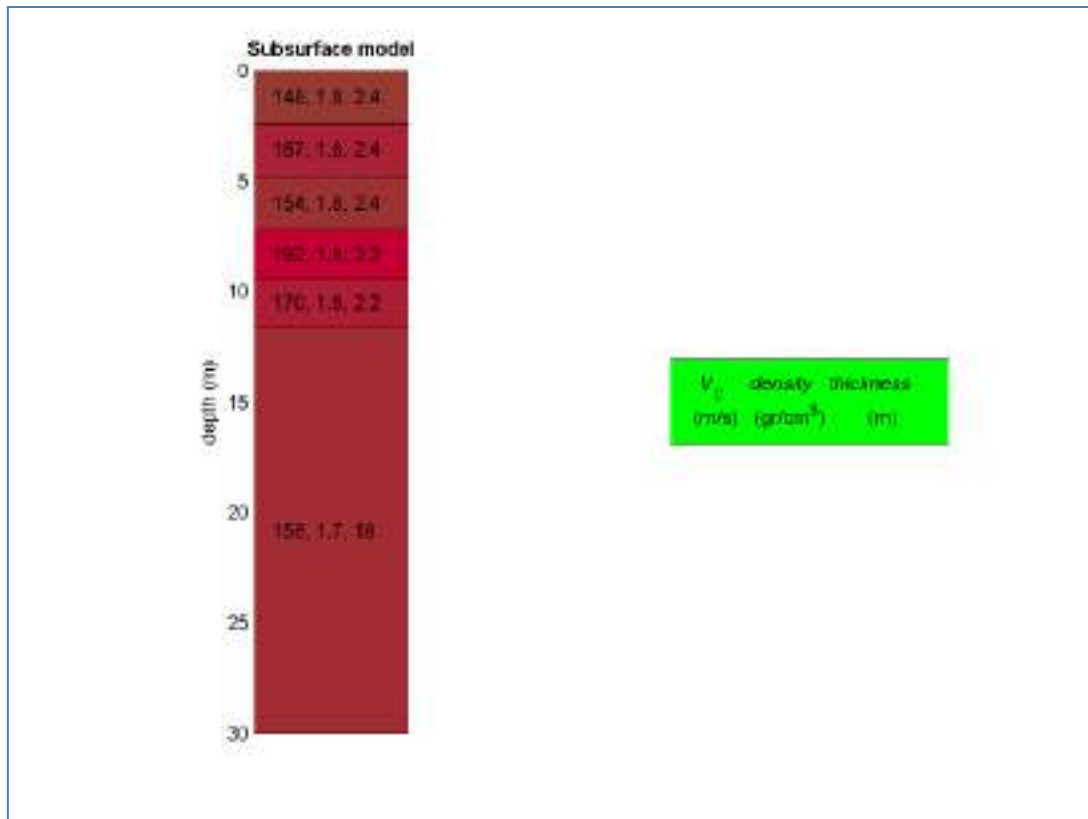


Figura 22: Indagine MASW4: Modello sismo stratigrafico

**MASW4: Modello medio**

Vs (m/s): 148, 167, 154, 192, 170, 158  
 Standard deviations (m/s): 7, 10, 14, 23, 18, 12  
 Thickness (m): 2.4, 2.4, 2.4, 2.2, 2.2  
 Standard deviations (m/s): 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 0.7

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.79, 1.77, 1.81, 1.80, 1.82, 1.75  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 39 49 43 66 53 44

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 6x.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 333, 313, 371, 355, 381, 281  
 Poisson: 0.38 0.30 0.40 0.29 0.38 0.27

Vs30 (m/s): 160



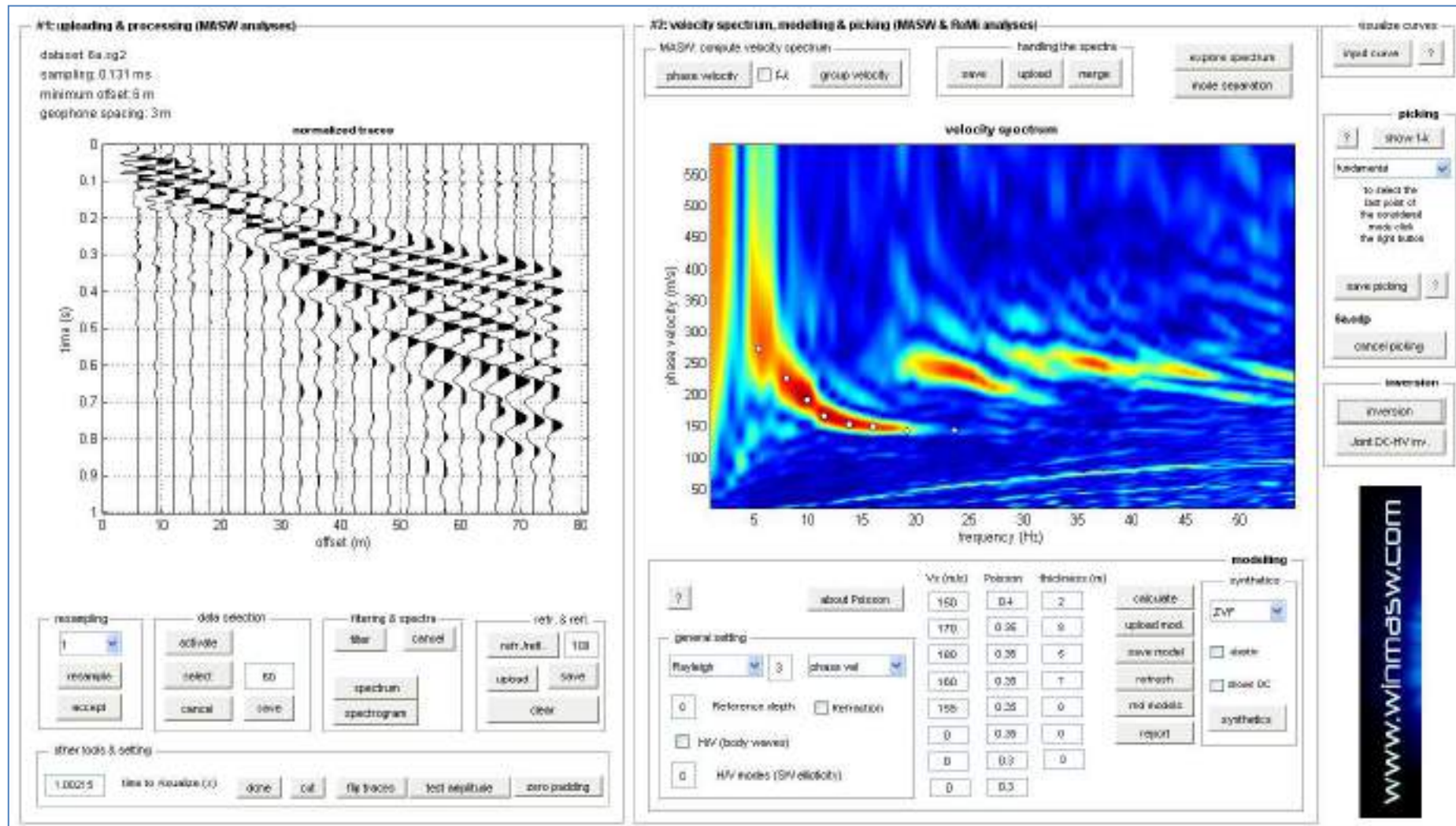


Figura 23: Indagine MASW5: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 6m su G1)

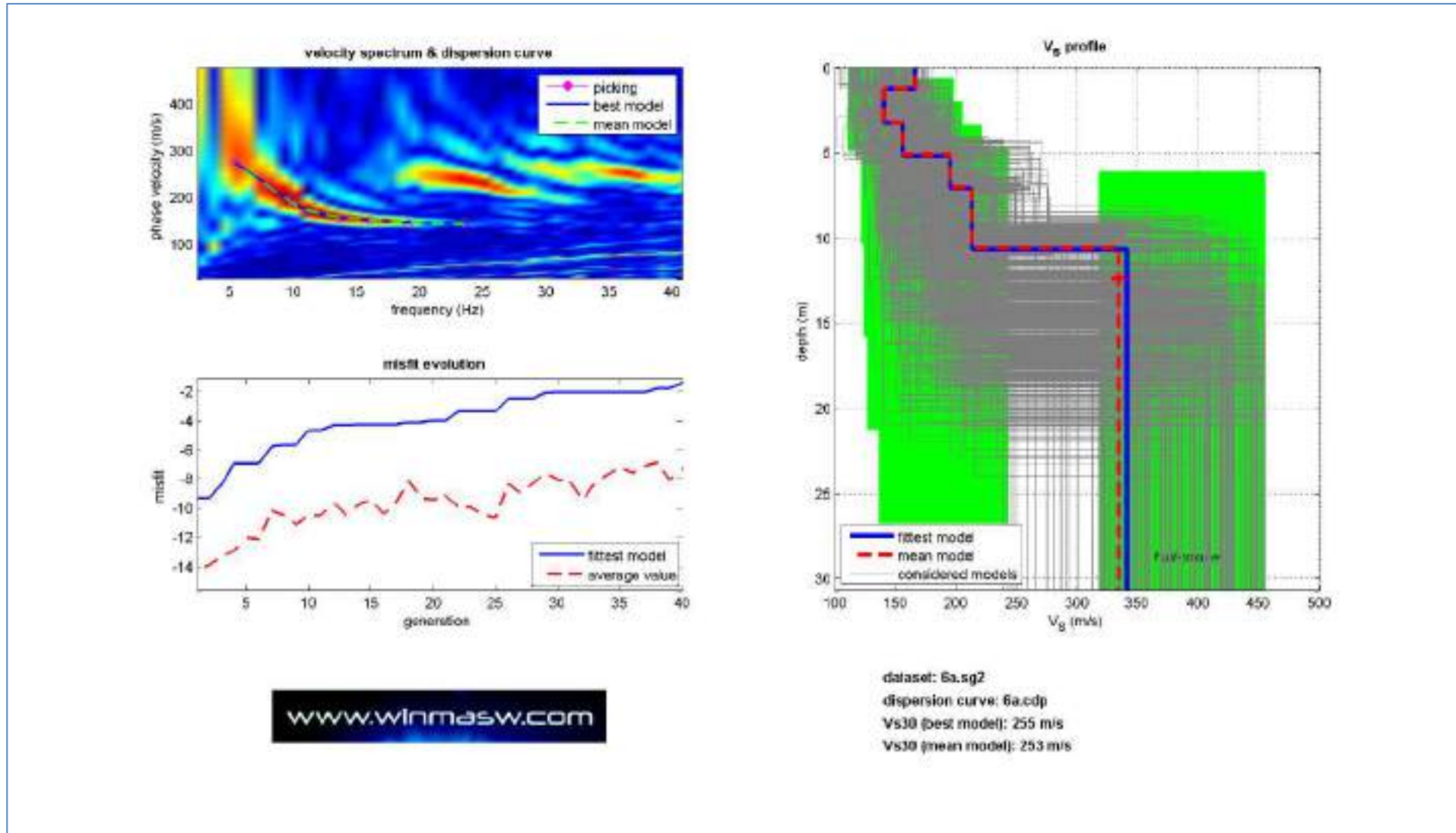


Figura 24: *Indagine MASW5*: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale  $V_s$  identificato; grafico *misfit-generazione* (*off-set 6m su G1*)

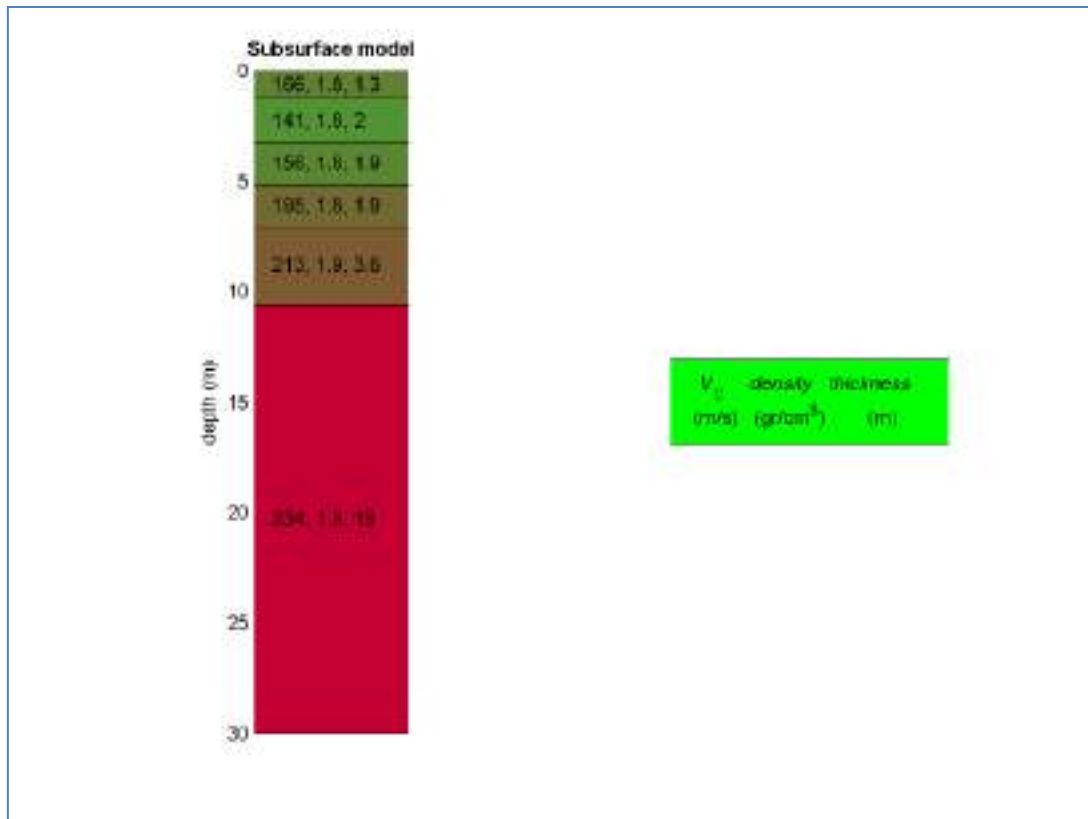


Figura 25: Indagine MASW5: Modello sismo stratigrafico

**MASW5: Modello medio**

Vs (m/s): 166, 141, 156, 195, 213, 334  
 Standard deviations (m/s): 0, 0, 0, 0, 0, 6  
 Thickness (m): 1.3, 2.0, 1.9, 1.9, 3.6  
 Standard deviations (m/s): 0.0, 0.0, 0.2, 0.0, 0.0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.80 1.76 1.78 1.84 1.86 1.94  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 50 35 43 70 84 216

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 6a.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 346 294 325 406 443 625  
 Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30

Vs30 (m/s): 253

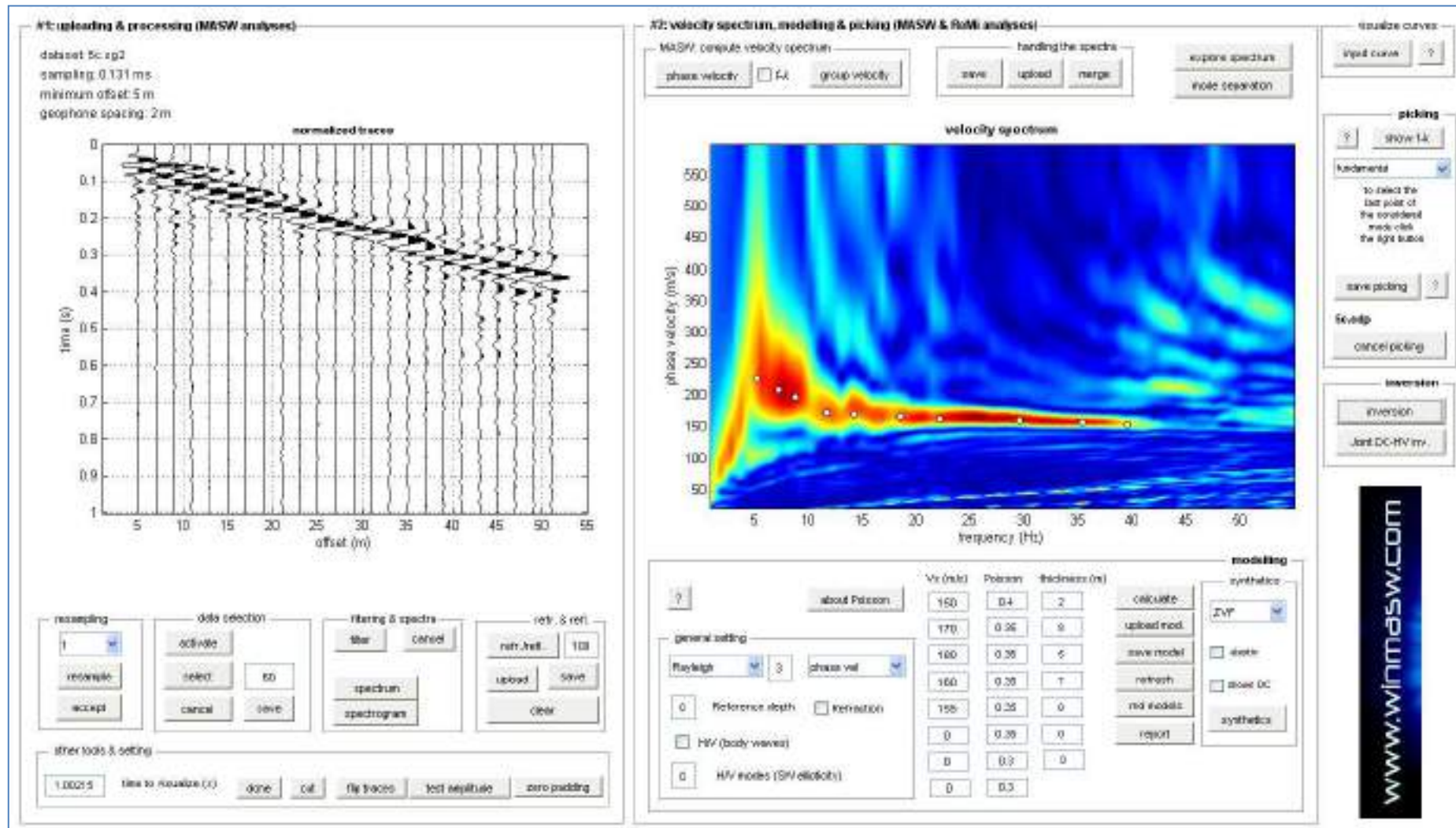


Figura 26: Indagine MASW6: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 5m su G1)

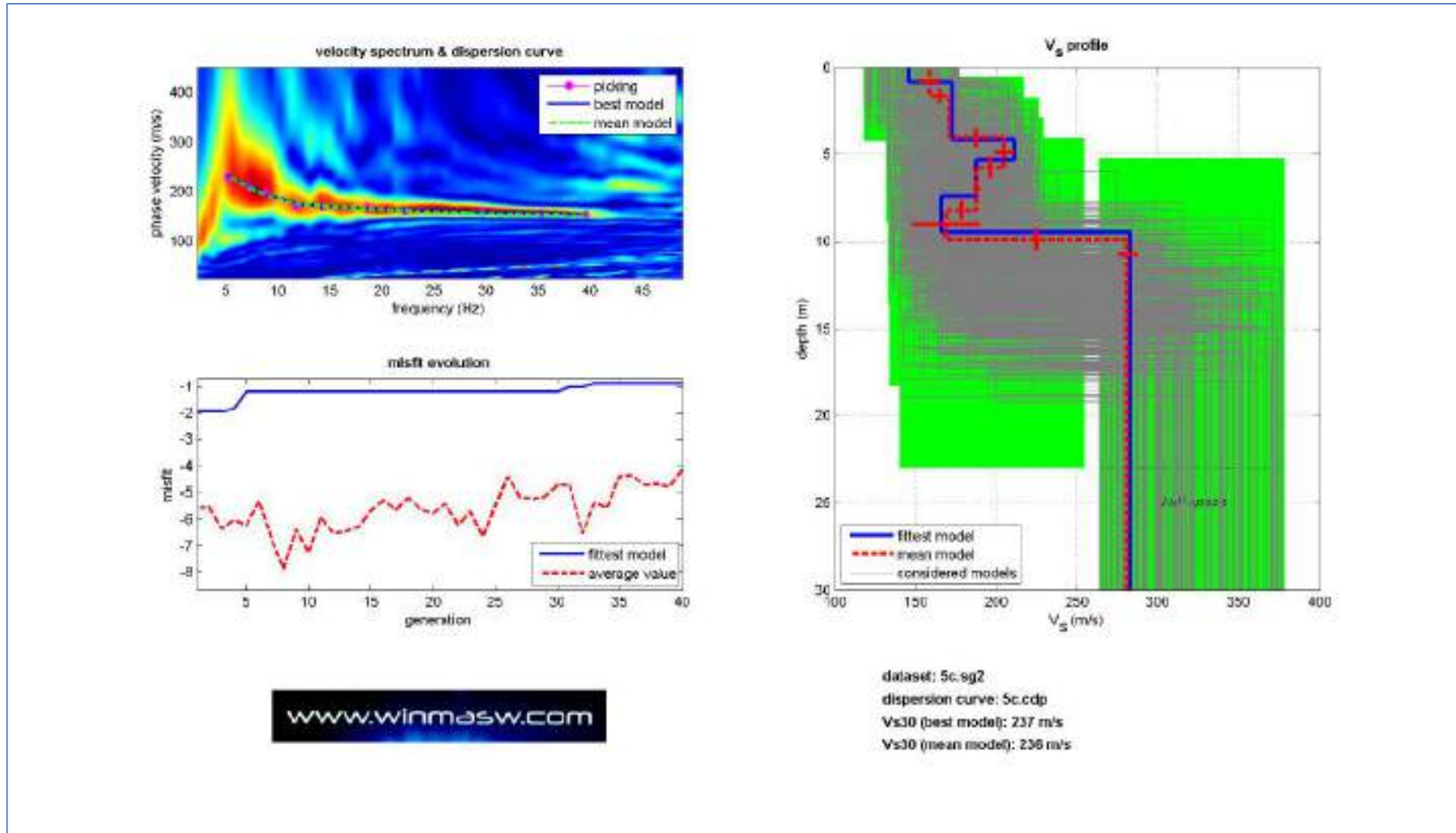


Figura 27: Indagine MASW6: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale  $V_s$  identificato; grafico *misfit*-generazione (*off-set 5m su G1*)

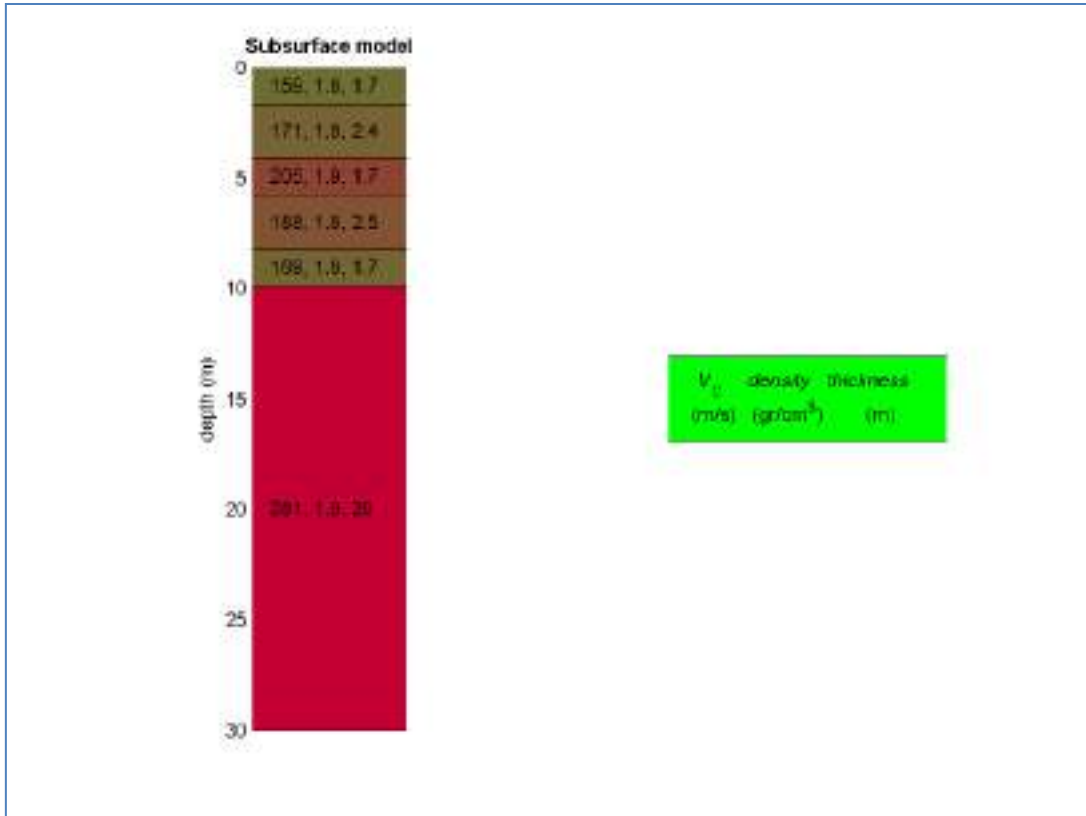


Figura 28: Indagine MASW6: Modello sismo stratigrafico

**MASW6: Modello medio**

Vs (m/s): 159, 171, 205, 188, 169, 281  
 Standard deviations (m/s): 7, 1, 6, 2, 21, 6  
 Thickness (m): 1.7, 2.4, 1.7, 2.5, 1.7  
 Standard deviations (m/s): 0.4, 0.5, 0.6, 0.5, 0.6

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.77, 1.81, 1.86, 1.83, 1.79, 1.90  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 45 53 78 65 51 150

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 5c.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 305, 364, 448, 390, 341, 533  
 Poisson: 0.31 0.36 0.37 0.35 0.34 0.31

Vs30 (m/s): 236

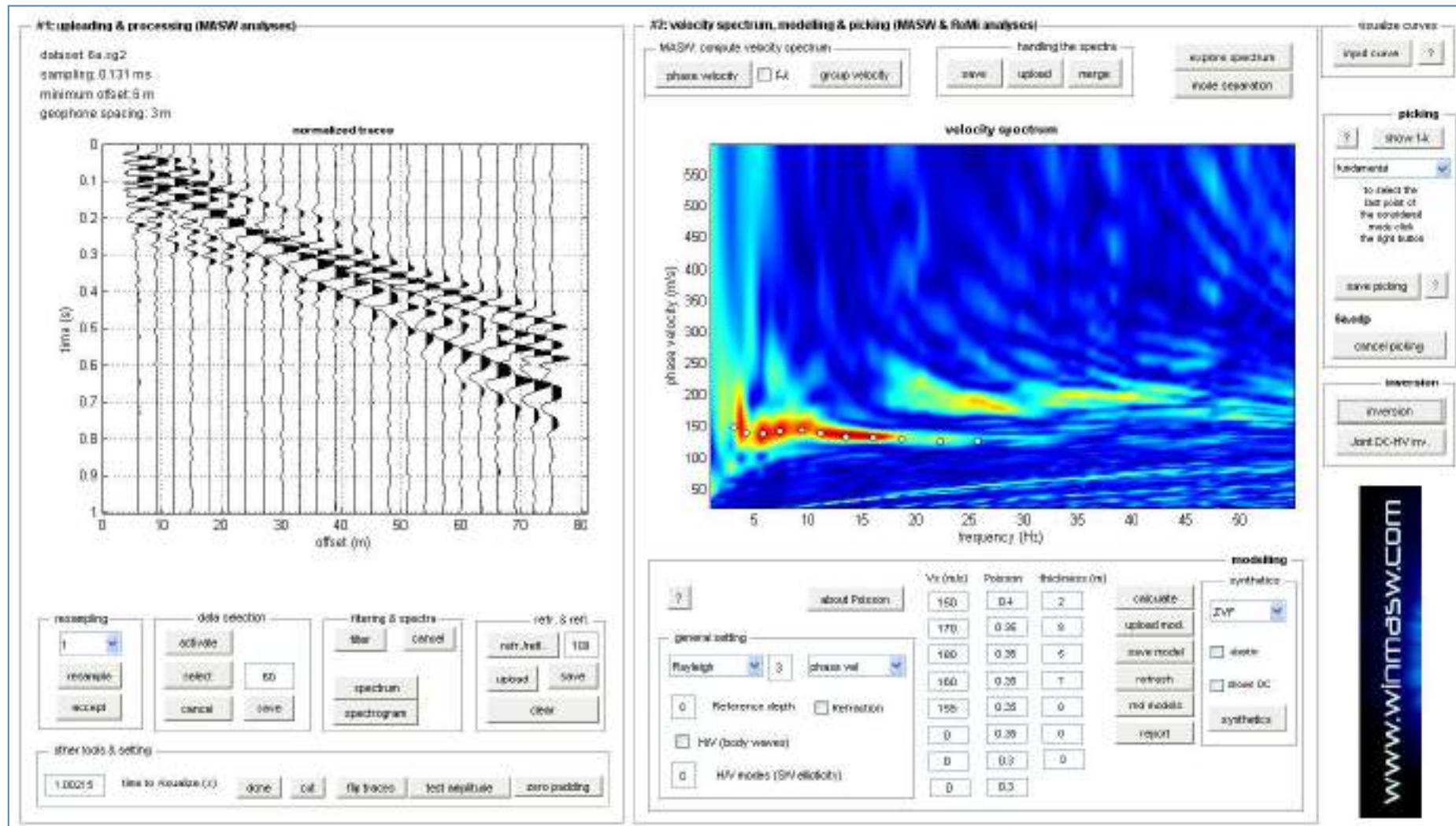


Figura 29: Indagine MASW7: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 6m su G1)

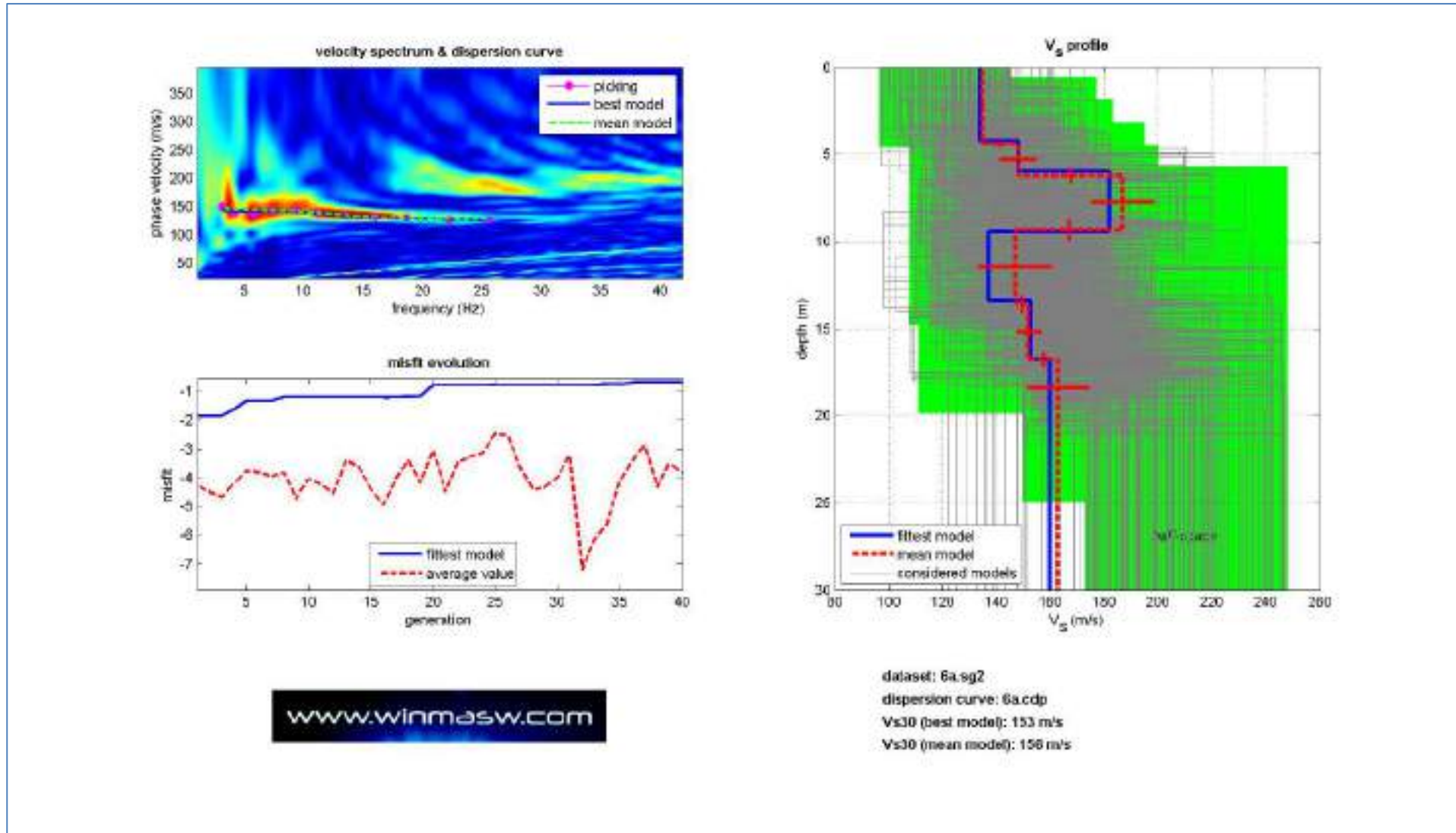


Figura 30: Indagine MASW7: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale  $V_s$  identificato; grafico *misfit*-generazione (*off-set 6m su G1*)



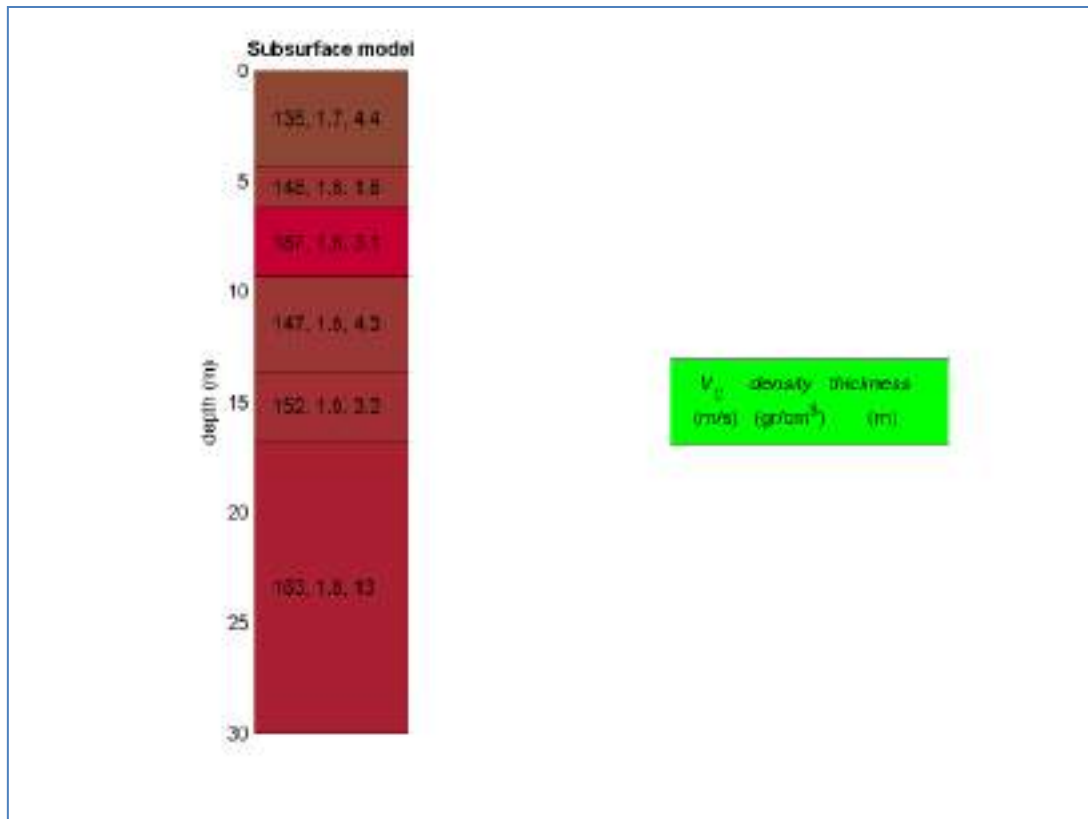


Figura 31: Indagine MASW7: Modello sismo stratigrafico

**MASW6: Modello medio**

Vs (m/s): 135, 148, 187, 147, 152, 163  
 Standard deviations (m/s): 0, 7, 12, 14, 5, 11  
 Thickness (m): 4.4, 1.8, 3.1, 4.3, 3.2  
 Standard deviations (m/s): 0.1, 0.4, 0.6, 0.5, 0.4

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.75, 1.78, 1.82, 1.76, 1.78, 1.77  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 32 39 64 38 41 47

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 6a.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 282, 317, 384, 296, 327, 302  
 Poisson: 0.35 0.36 0.34 0.34 0.36 0.29

Vs30 (m/s): 156

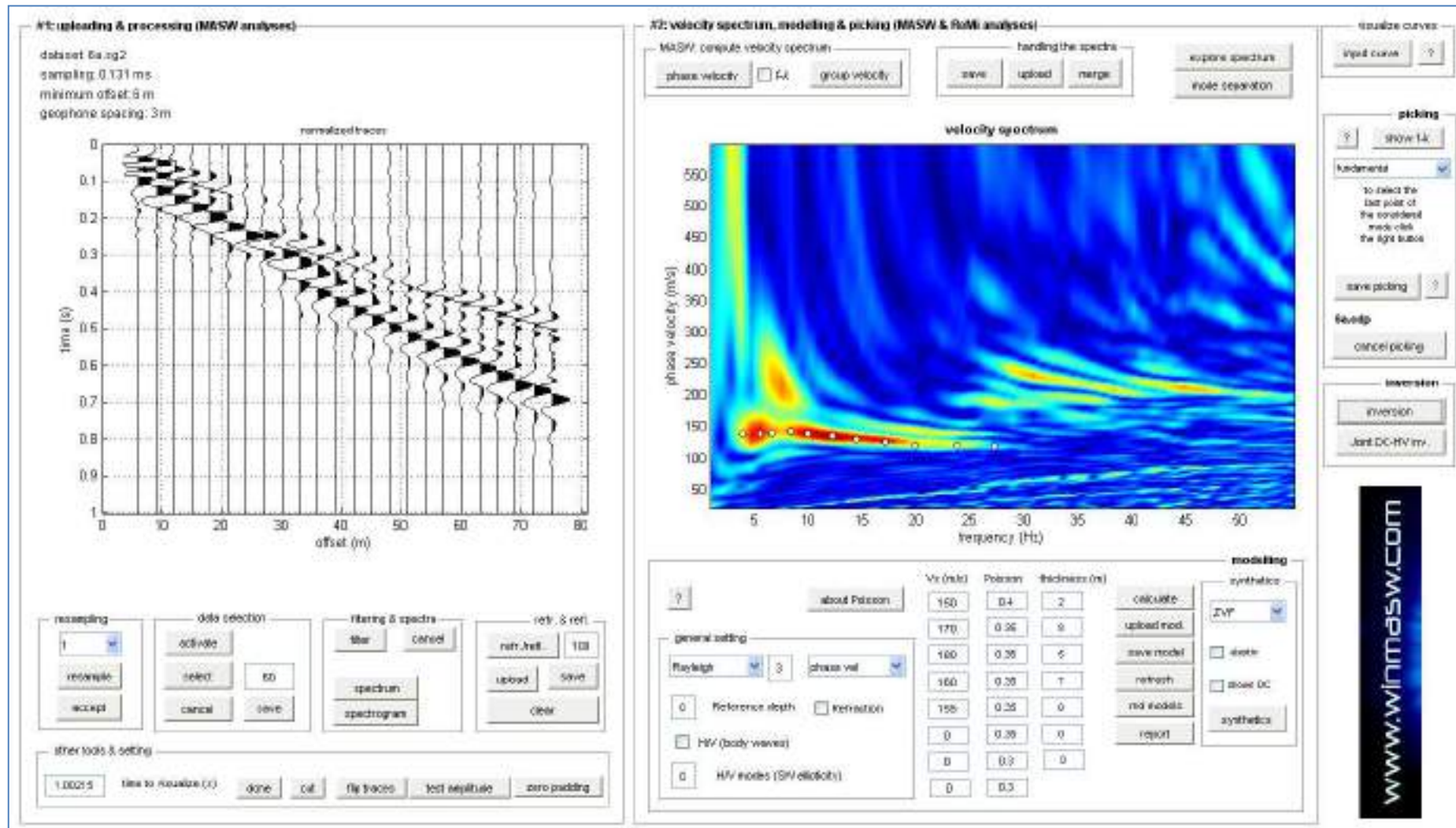


Figura 32: Indagine MASW8: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 6m su G1)

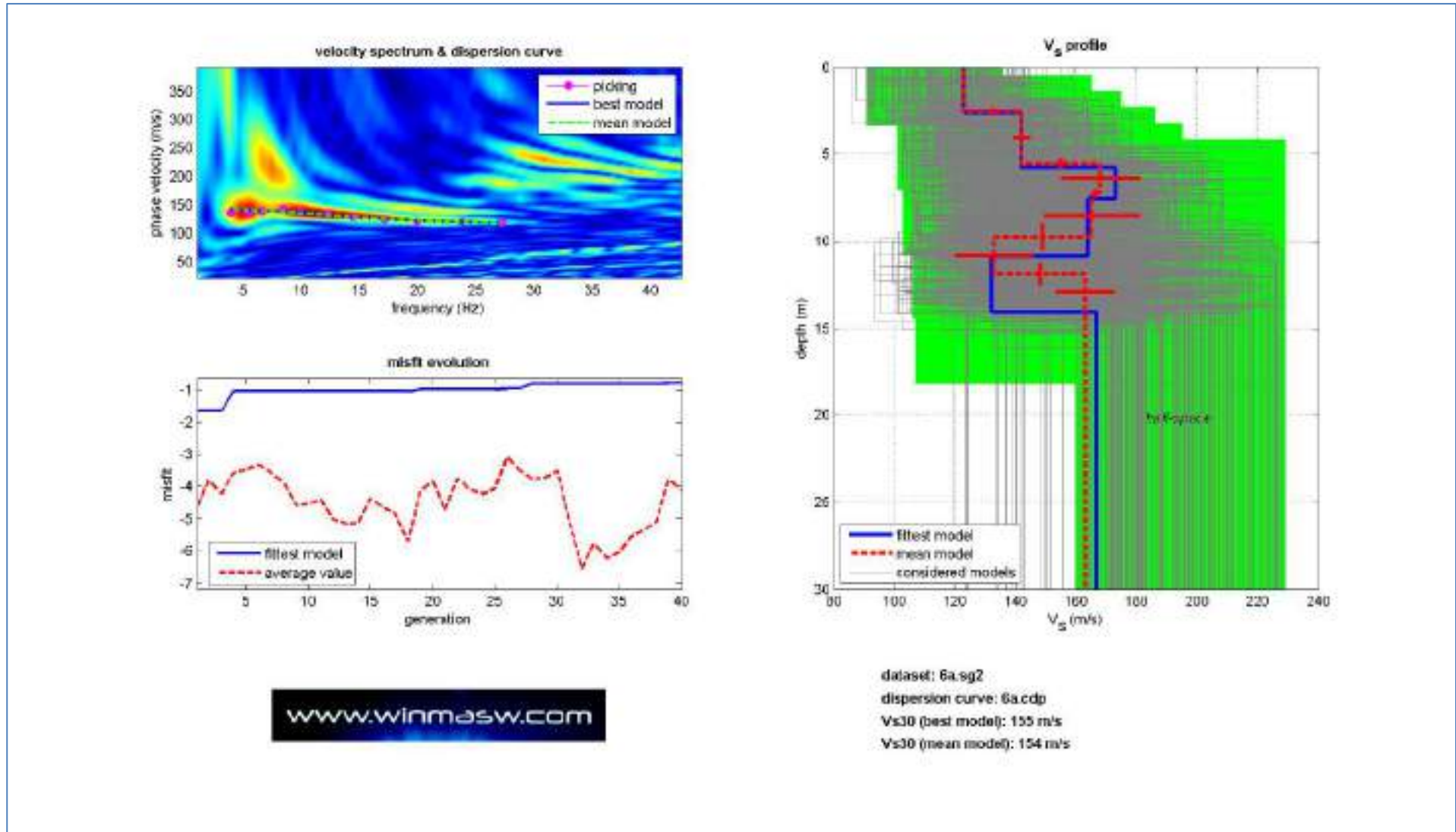


Figura 33: *Indagine MASW8*: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale Vs identificato; grafico *misfit-generazione* (*off-set 6m su G1*)

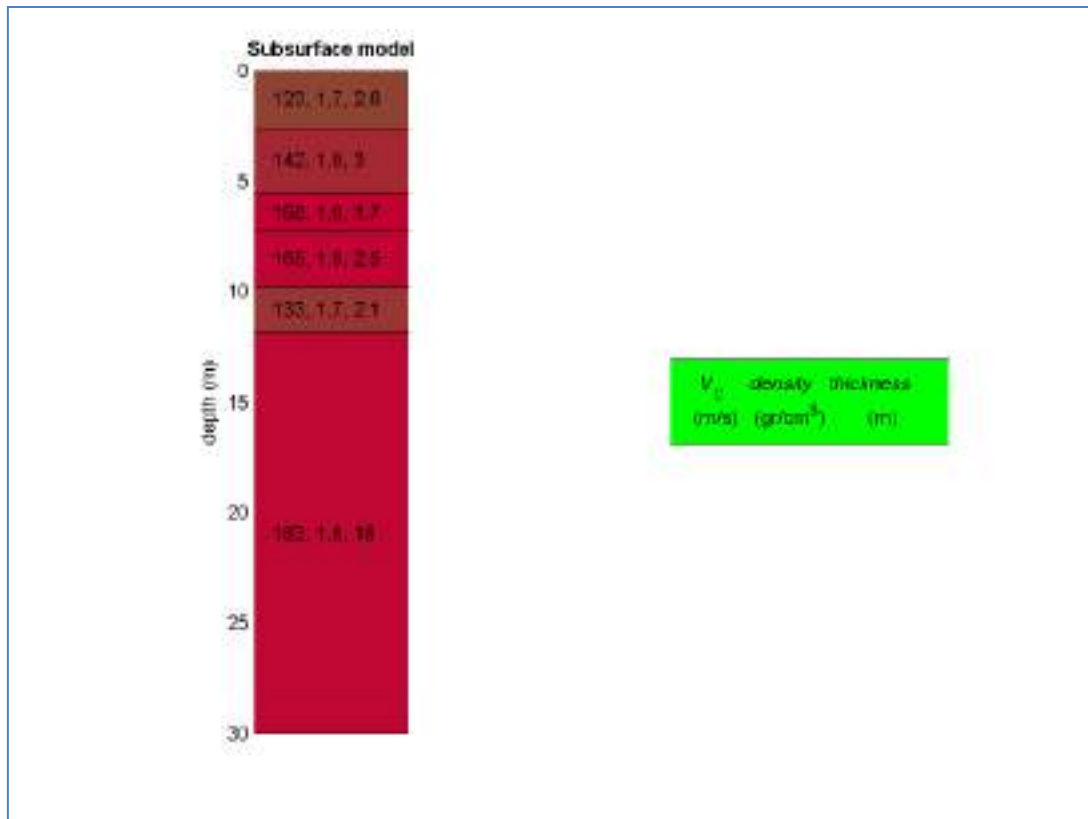


Figura 34: Indagine MASW8: Modello sismo stratigrafico

**MASW8: Modello medio**

Vs (m/s): 123, 142, 168, 165, 133, 163  
 Standard deviations (m/s): 0, 3, 13, 16, 13, 10  
 Thickness (m): 2.6, 3.0, 1.7, 2.5, 2.1  
 Standard deviations (m/s): 0.2, 0.3, 0.3, 0.8, 0.6

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.73, 1.76, 1.81, 1.80, 1.75, 1.77  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 26 36 51 49 31 47

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 6a.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 258, 302, 369, 348, 281, 311  
 Poisson: 0.35 0.36 0.37 0.35 0.36 0.31

Vs30 (m/s): 154

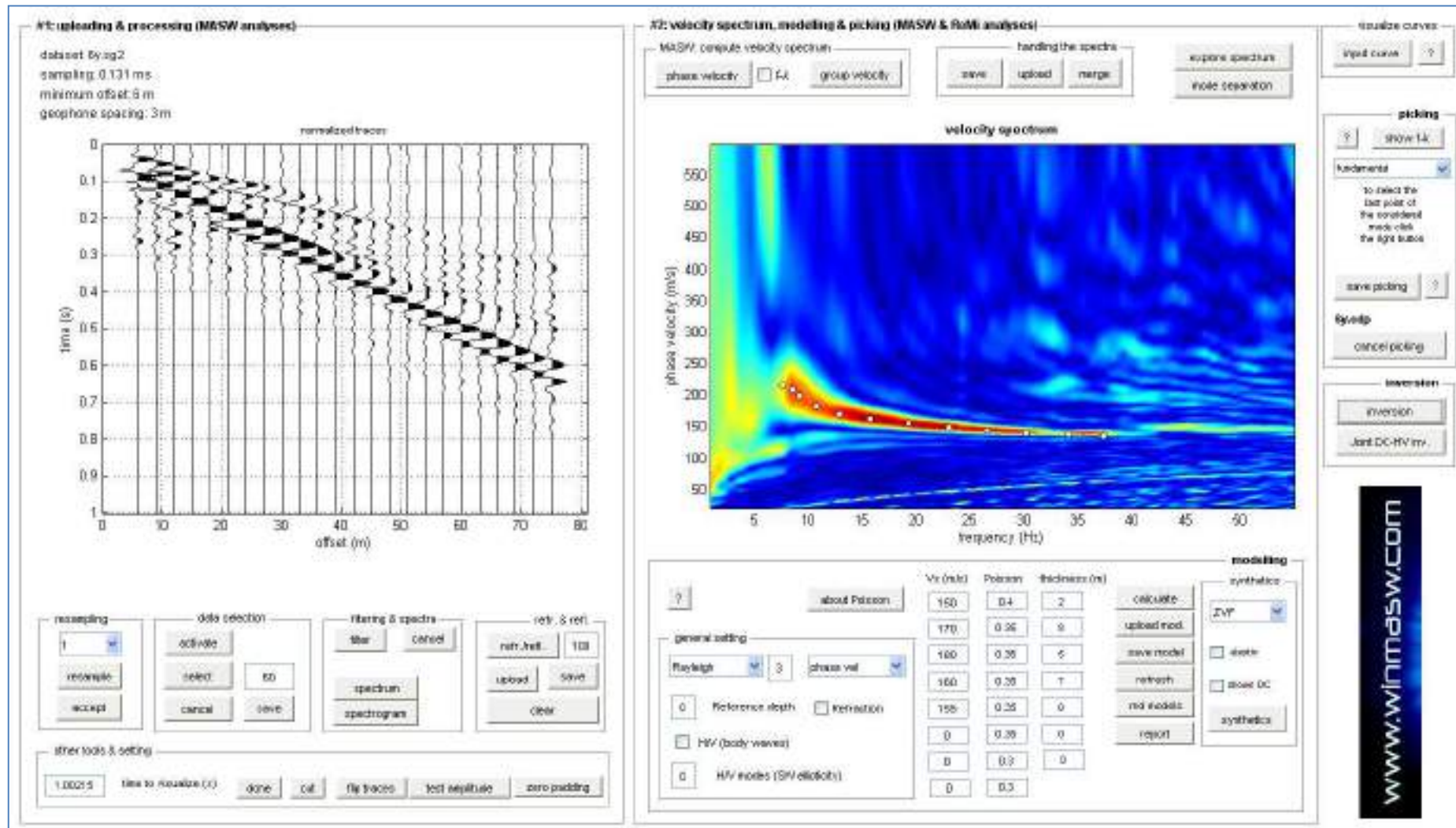


Figura 35: Indagine MASW9: Sismogramma, spettro di velocità; spettro e curva di dispersione individuata (picking) (off-set 6m su G1)

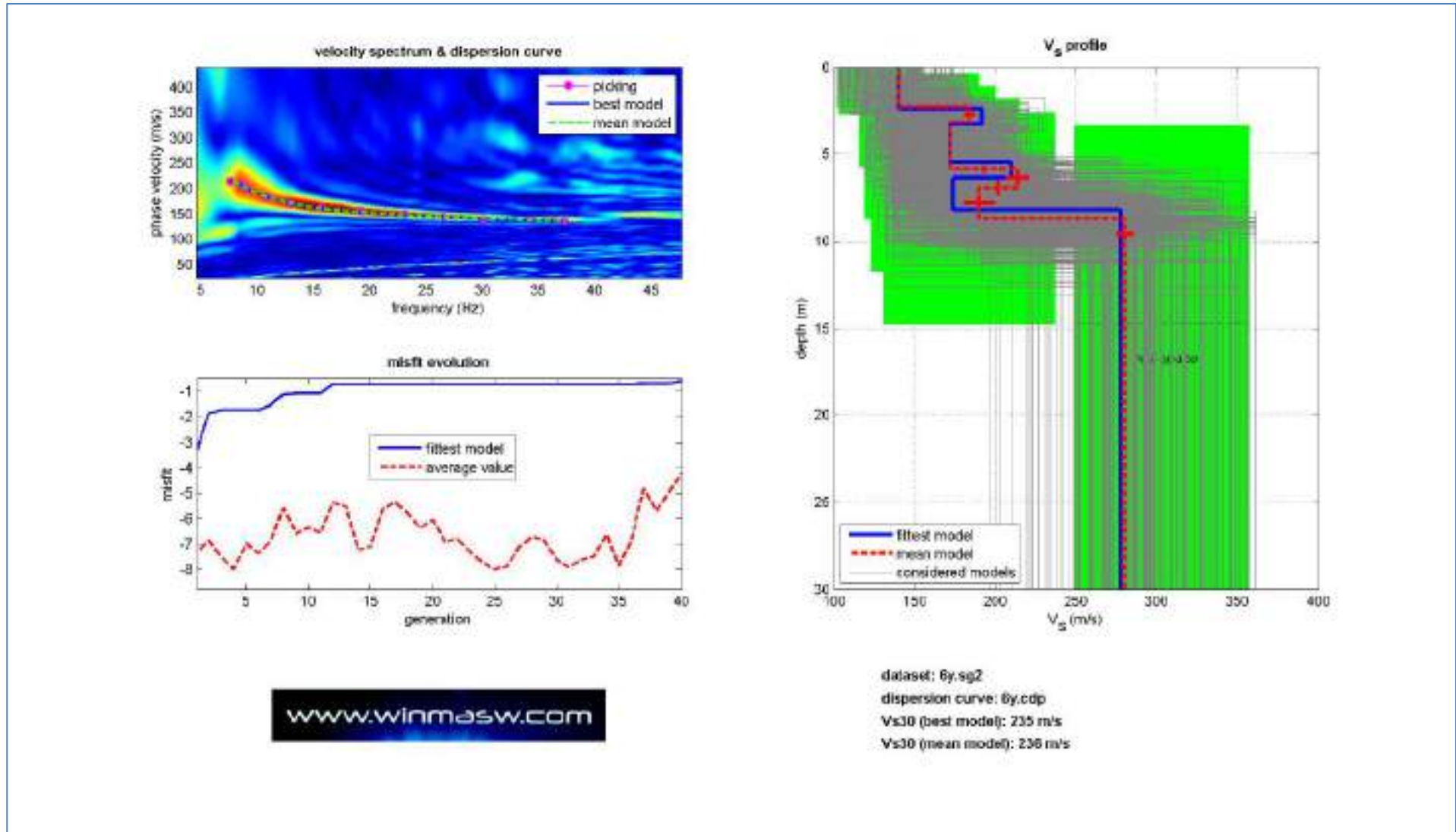


Figura 36: *Indagine MASW9*: Spettro osservato, curve di dispersione *piccate* e curve del modello individuato dall'inversione; profilo verticale  $V_s$  identificato; grafico *misfit-generazione* (*off-set 6m su G1*)

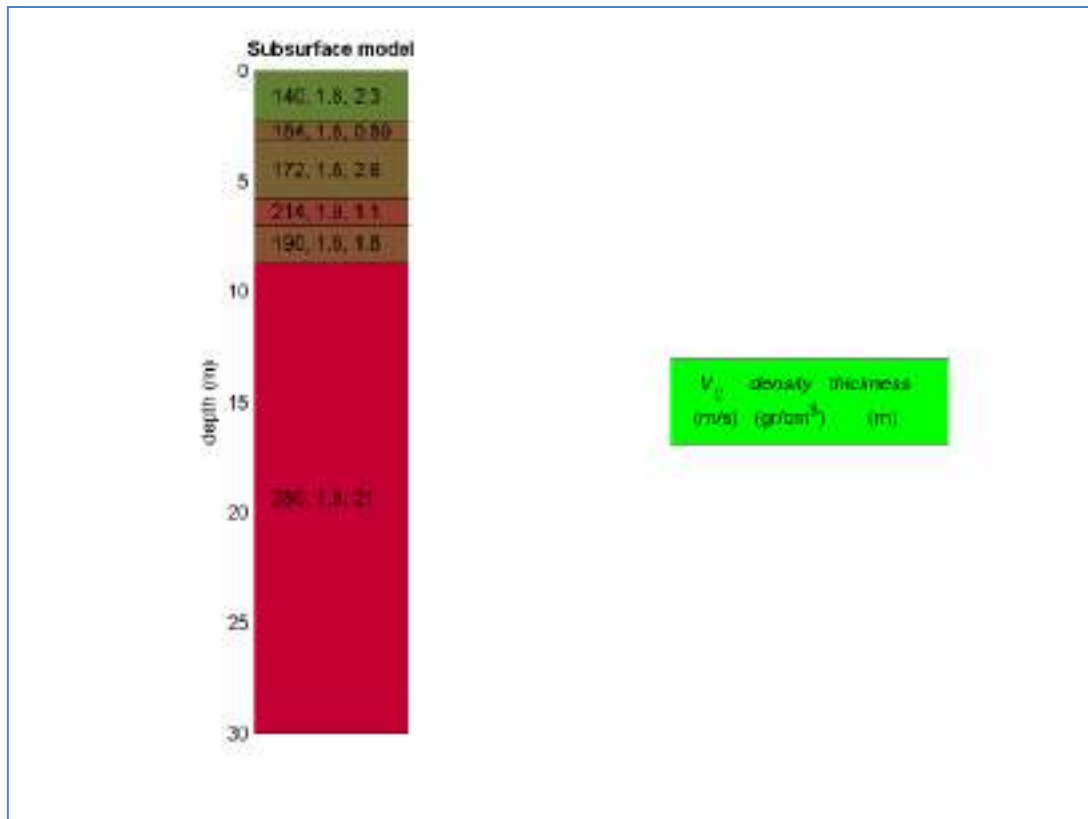


Figura 37: Indagine MASW9: Modello sismo stratigrafico

**MASW9: Modello medio**

Vs (m/s): 140, 184, 172, 214, 190, 280  
 Standard deviations (m/s): 0, 4, 0, 7, 9, 5  
 Thickness (m): 2.3, 0.9, 2.6, 1.1, 1.8  
 Standard deviations (m/s): 0.1, 0.0, 0.2, 0.4, 0.1

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.76, 1.84, 1.81, 1.86, 1.81, 1.90  
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 35 62 54 85 65 149

Analyzing Phase velocities  
 Considered dispersion curve: 6y.cdp  
 Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
 Vp (m/s): 297, 408, 368, 450, 370, 519  
 Poisson: 0.36 0.37 0.36 0.35 0.32 0.29

Vs30 (m/s): 236

Si riporta una tabella riassuntiva delle Vs30 individuate:

INDAGINE	Vs30 INDIVIDUATA	PROFILO STRATIGRAFICO (D.M. 14/01/2008)
<b>MASW 1</b>	154 m/s	D
<b>MASW 2</b>	167 m/s	D
<b>MASW 3</b>	169 m/s	D
<b>MASW 4</b>	160 m/s	D
<b>MASW 5</b>	253 m/s	C
<b>MASW 6</b>	236 m/s	C
<b>MASW 7</b>	156 m/s	D
<b>MASW 8</b>	154 m/s	D
<b>MASW 9</b>	236 m/s	C



## INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR

### INDAGINI DI SISMICA PASSIVA TIPO HVSR - GENERALITA'

La tecnica di acquisizione ed analisi dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

Le conoscenze e le informazioni che si possono ottenere dall'analisi ed interpretazione di una registrazione di questo tipo sono:

- ove esistente, la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale ai fini dell'individuazione di adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- ove determinabile, la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso, a seguito di analisi correlate sarà possibile confrontare le frequenze di sito e dell'edificio, e valutare se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio  $V_s$  calcolata tramite uno specifico software di calcolo, per cui è possibile determinare la  $V_{s30}$  e la relativa categoria del suolo di fondazione come richiesto dalle N.T.C. 2008;
- la stratigrafia del sottosuolo con un ampio range di profondità di indagine, e secondo il principio che in termini di stratigrafia del sottosuolo, uno strato è inteso come unità distinta, in termini di contrasto d'impedenza sismica.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti.

La forma di un'onda registrata in un sito oggetto di indagine è funzione di:

- dalla forma dell'onda prodotta dall'insieme delle sorgenti s dei microtremiti;
- dal percorso dell'onda dalle sorgenti s fino alla posizione x del sito oggetto di indagine e funzione dei processi di attenuazione, riflessione, rifrazione e canalizzazione di guida d'onda;
- dalla modalità di acquisizione dello strumento in funzione dei parametri e delle caratteristiche strumentali.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni con ampiezze minime, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il segnale da acquisire non è generato con strumenti o tecniche attive, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di origine sismiche che dovute al microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, canalizzazioni per fenomeni di guida d'onda ed attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte di informazioni correlata al contenuto frequenziale del segnale che può essere estratta e che permette di ottenere informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

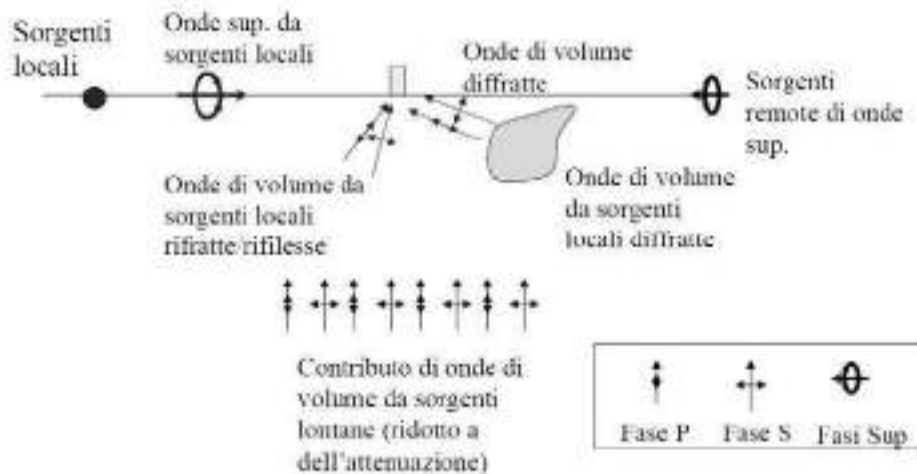


Figura 38: Modalità di generazione e propagazione di microtremore

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni.

Questa informazione è però correlata alle caratteristiche frequenziale e spettrali del cosiddetto "rumore casuale" o microtremore, e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la tecnica di analisi dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili sul comportamento frequenziale dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

L'ottenimento di una stratigrafia sismica da indagini a stazione singola, deriva dai primi studi di Kanai (1957) in poi, per cui diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

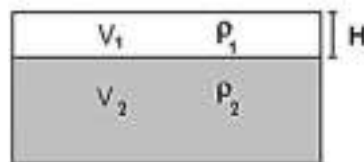
Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).

Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche del metodo HVSR sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema della figura seguente in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità e le diverse velocità delle onde sismiche.

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.



L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $l$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore  $H$  del primo strato.

La frequenza fondamentale di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a (equazione 1):

$$(f_r) = V_s1/4H$$

$$(f_r) = V_p1/4H$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1.

Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione 1.

## ***SISTEMA DI ACQUISIZIONE***

La misura prevede la registrazione del microtremore sismico ambientale nel dominio del tempo sulle tre componenti dello spazio attraverso il posizionamento di geofono tridimensionale.

La strumentazione di acquisizione utilizzata per la presente indagine è un prospettore sismico AMBROGEO "ECHO-TROMO" a 3 canali completo di geofono 3D da superficie, che presenta le seguenti specifiche:

- trasduttori tricomponenti (N-S, E-W, verticale) a bassa frequenza (2 Hz);
- amplificatori;
- digitalizzatore;
- frequenza di campionamento: 200 Hz;
- convertitore A/D (analogico digitale) a 24 bit;

Lo strumento di misura è stato orientato secondo le direzioni geografiche (E e W).

Sono state eseguite n°15 registrazioni della durata di 30-40 minuti, in 15 siti all'interno del territorio comunale.

## ***ELABORAZIONE DEI DATI***

L'interpretazione dei dati consente di correlare il valore di un eventuale picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del bedrock geofisico e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

L'elaborazione dei dati raccolti impiega il software *winMASW Academy* in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (*Site effects assessment using ambient excitations, 2005*).

Il processing dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale.

In fase di elaborazione vengono seguite le seguenti operazioni:

1. la registrazione viene suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
2. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
3. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
4. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato, che gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti" e che la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno).

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di  $f_0$  – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Viene riportata anche la check-list proposta dalla procedura SESAME per l'ottenimento di una curva H/V affidabile.

## TROMO\_1

Coordinate Gauss-Boaga: 1630116 4840116

Dataset: CLCN01.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 40.0

Tapering (%): 10

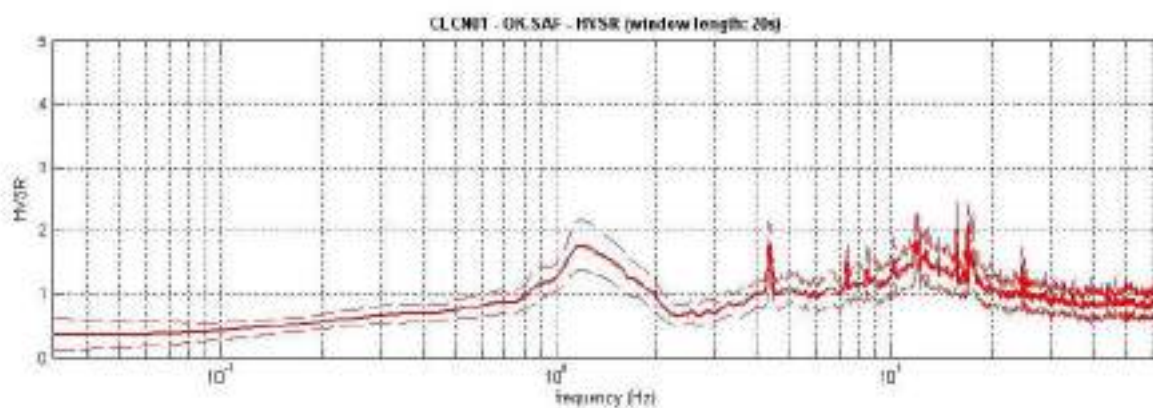
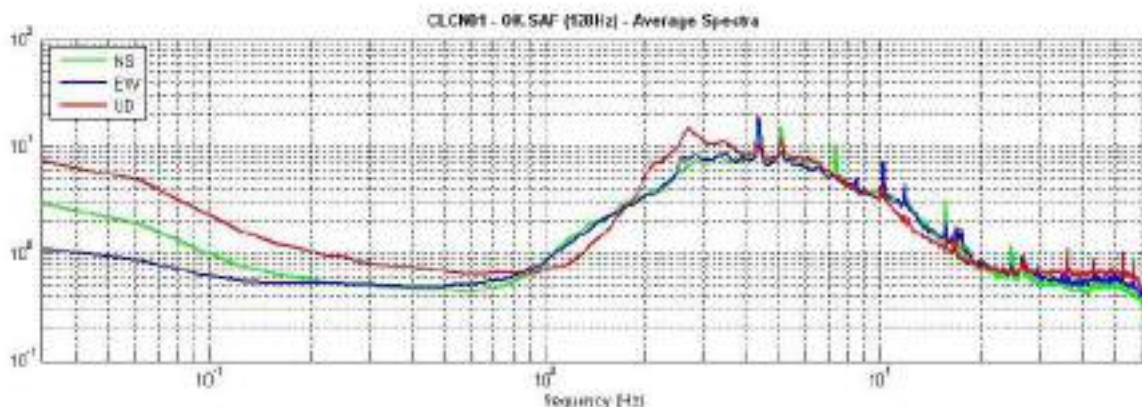
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 39: Stazione TROMO\_1

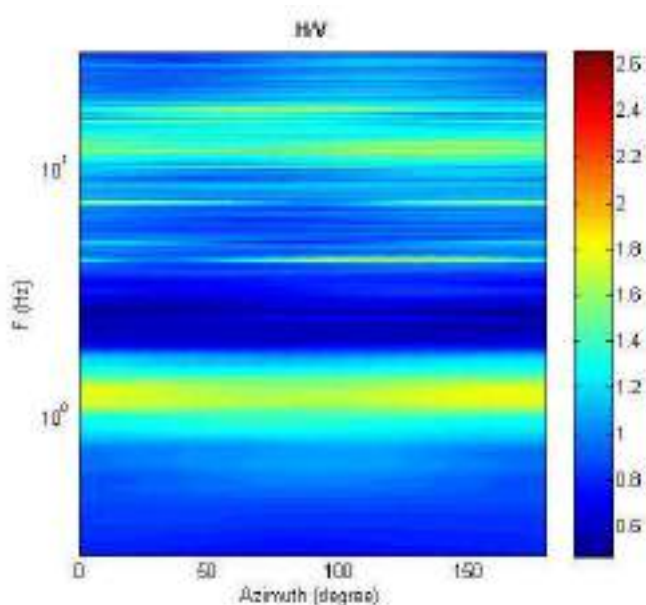
## TROMO\_1

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To make the HVSZ (also only with HVSZ or HAZI data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrums, Modeling & Fitting" panel and apply the saved HV curve

### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_1

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.2 ( $\pm 0.19$ )

Peak HVSR value: 1.8 ( $\pm 0.4$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $1.2 > 0.5$  (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]:  $5804 > 200$  (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 0.8Hz (OK)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.1Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]:  $1.8 < 2$  (NO)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]:  $0.708 > 0.122$  (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.410 < 1.78$  (OK)



## TROMO\_2

Coordinate Gauss-Boaga: 1630662 4839410

Dataset: CLCN02.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 40.0

Tapering (%): 10

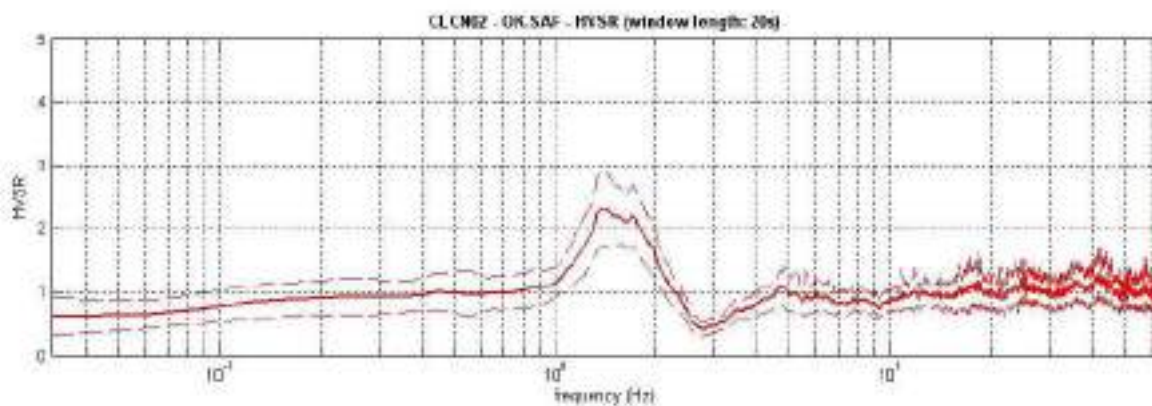
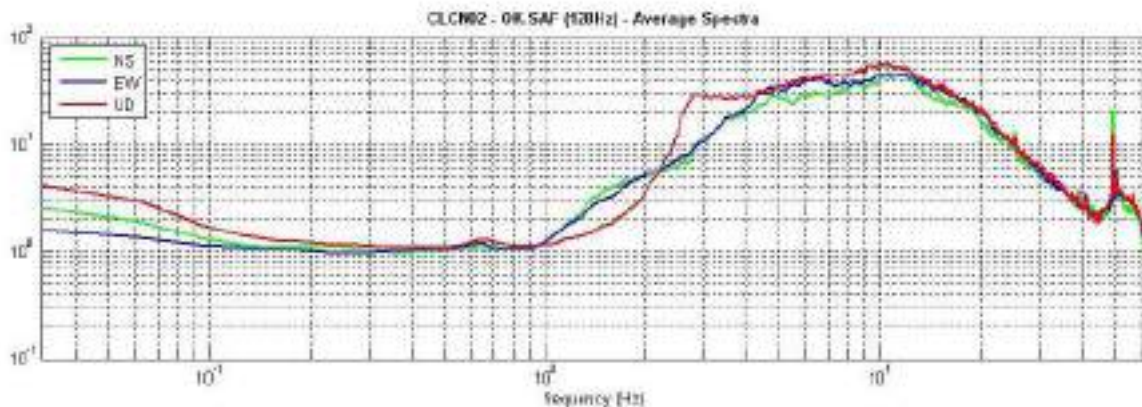
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 40: Stazione TROMO\_2

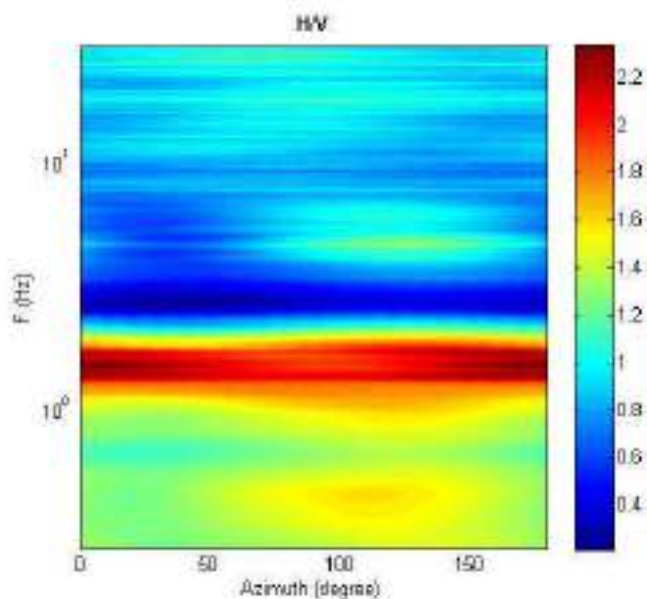
## TROMO\_2

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/VSR (also partly with HRSW or RSM data), save the HV curve; go to the 'Velocity Spectrums, Modeling & Fitting' panel and upload the saved HV curve

### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_2

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.4 ( $\pm 0.22$ )

Peak HVSR value: 2.3 ( $\pm 0.6$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/L_w$ ]:  $1.4 > 0.5$  (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]:  $6846 > 200$  (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.0Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.2Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]:  $2.3 > 2$  (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (NO)

#5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]:  $6.273 > 0.144$  (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.601 < 1.78$  (OK)

## TROMO\_3

Coordinate Gauss-Boaga: 1630808 4838860

Dataset: CLCN03.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 35.9

Tapering (%): 10

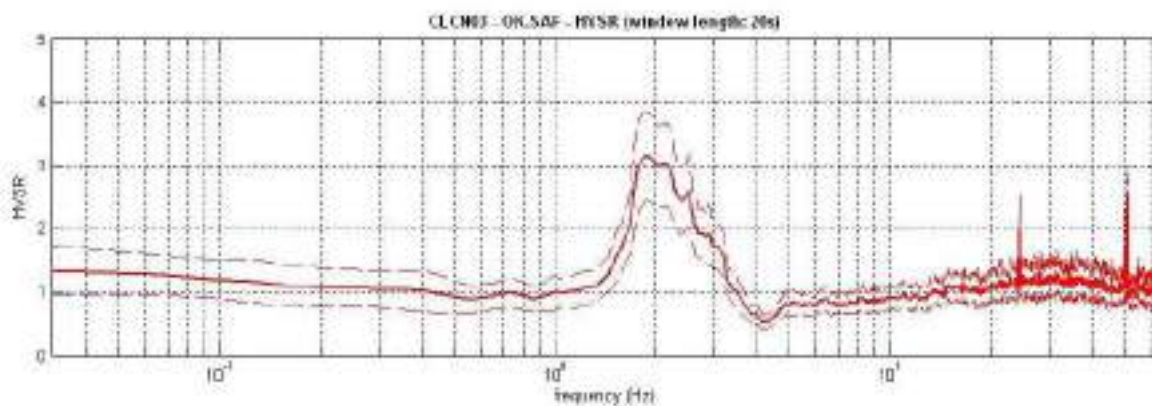
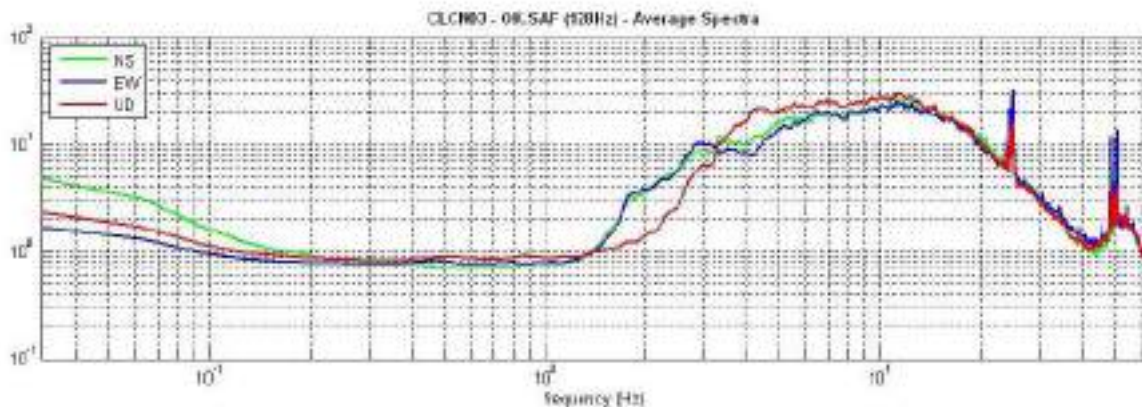
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 41: Stazione TROMO\_3

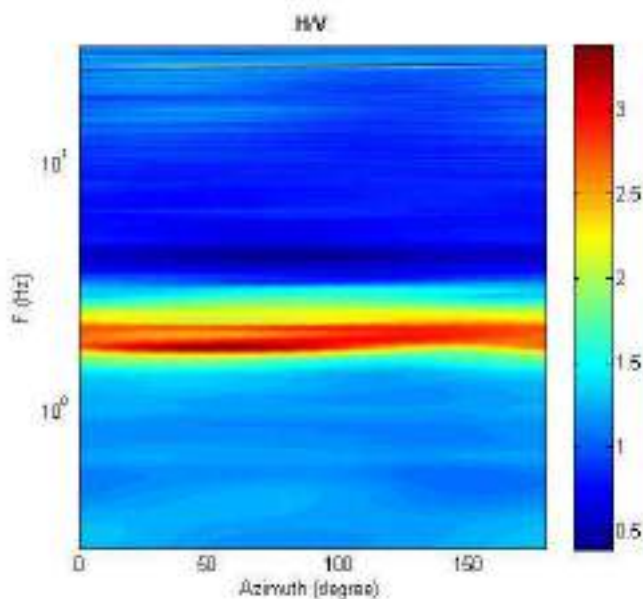
### TROMO\_3

#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/VSR (also partly with HRSW or RSM data), save the HV curves go to the 'Velocity Spectrums, Modeling & Fitting' panel and adjust the model HV curve

#### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_3

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.9 ( $\pm 0.26$ )

Peak HVSR value: 3.1 ( $\pm 0.7$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 1.9 > 0.5 (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]: 8163 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.5Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 3.2Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 3.1 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_A(f) < \epsilon(f)$ ]: 3.999 > 0.191 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.695 < 1.78 (OK)

## TROMO\_4

Coordinate Gauss-Boaga: 1631330 4838232

Dataset: CLCN04.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 30.0

Tapering (%): 10

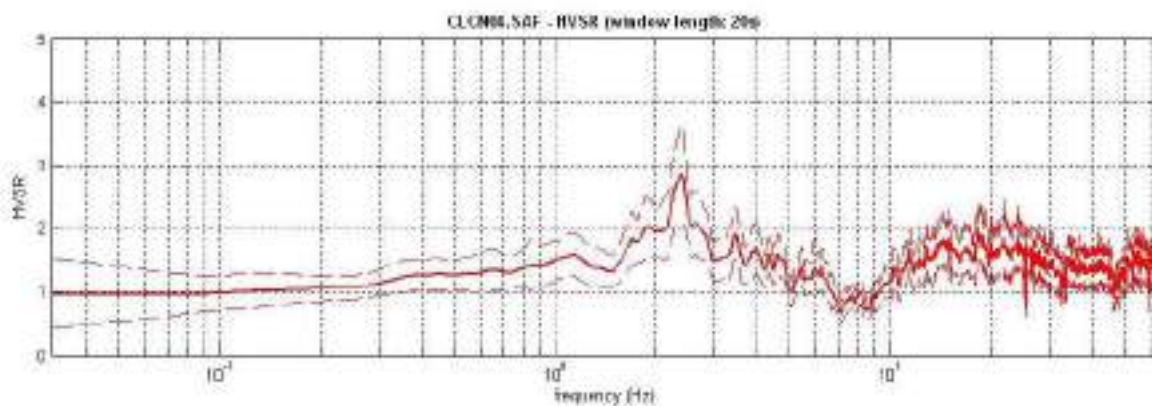
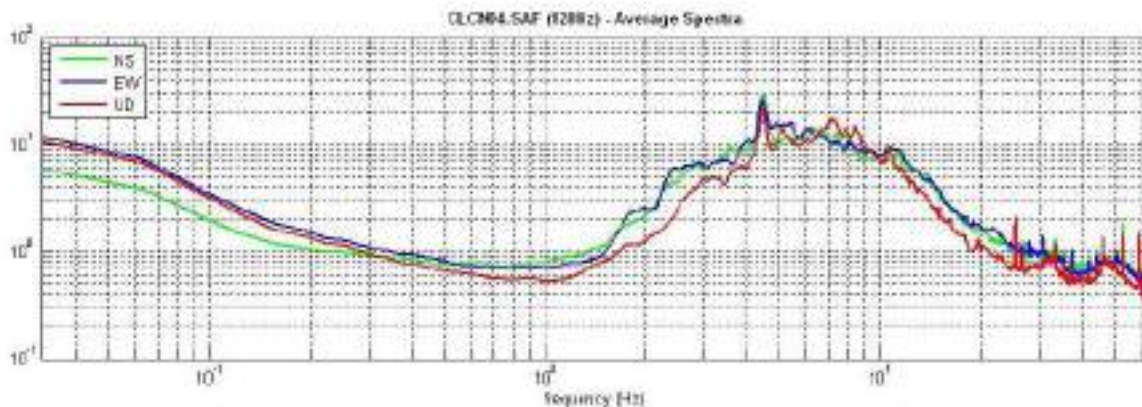
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 42: Stazione TROMO\_4

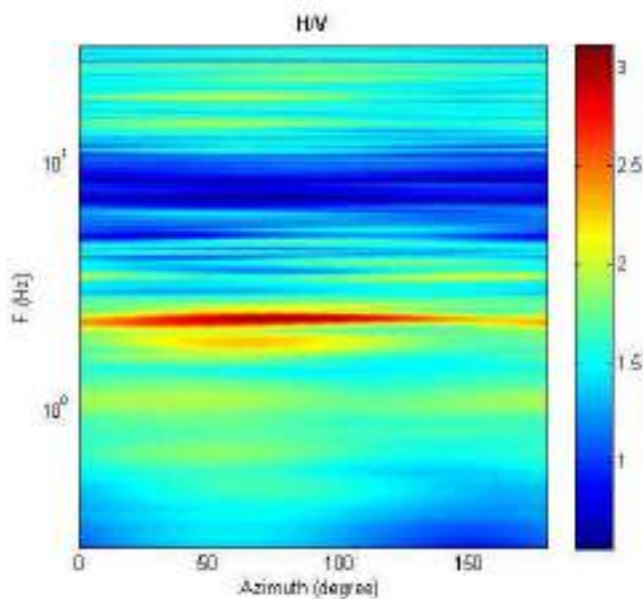
### TROMO\_4

#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/VSR (also partly with MRSW or RSLM data), save the HV curves go to the 'Velocity Spectrums, Modeling & Fitting' panel and adjust the saved HV curve

#### DIREZIONALITA' H/V





## TROMO\_4

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.4 ( $\pm 0.32$ )

Peak HVSR value: 2.9 ( $\pm 0.7$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 2.4 > 0.5 (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]: 8570 > 200 (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.6Hz (OK)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 3.7Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.9 > 2 (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]: 6.796 > 0.120 (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.760 < 1.58 (OK)

## TROMO\_5

Coordinate Gauss-Boaga: 1630860 4838357

Dataset: CLCN05.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 37.8

Tapering (%): 10

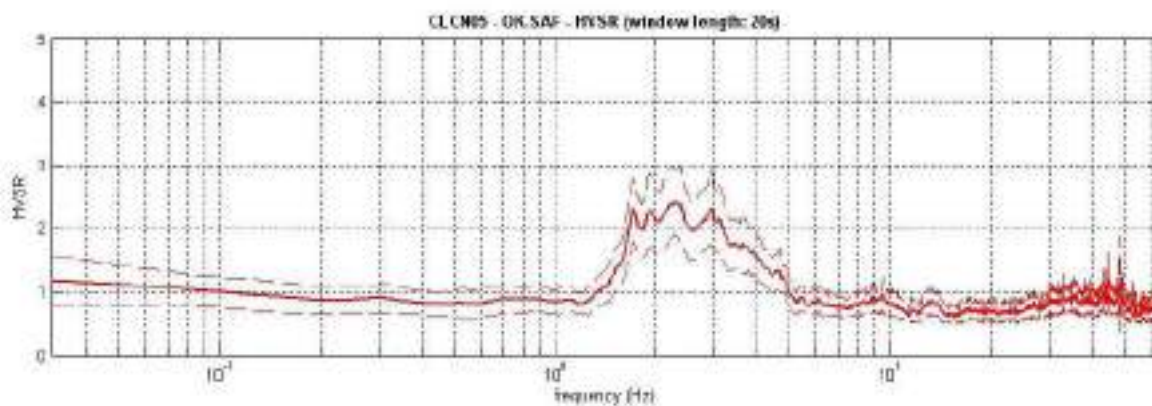
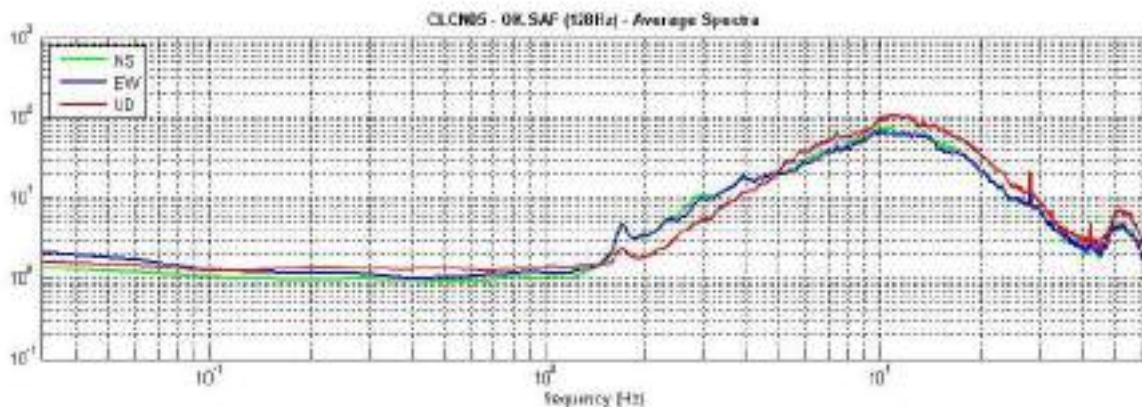
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 43: Stazione TROMO\_5

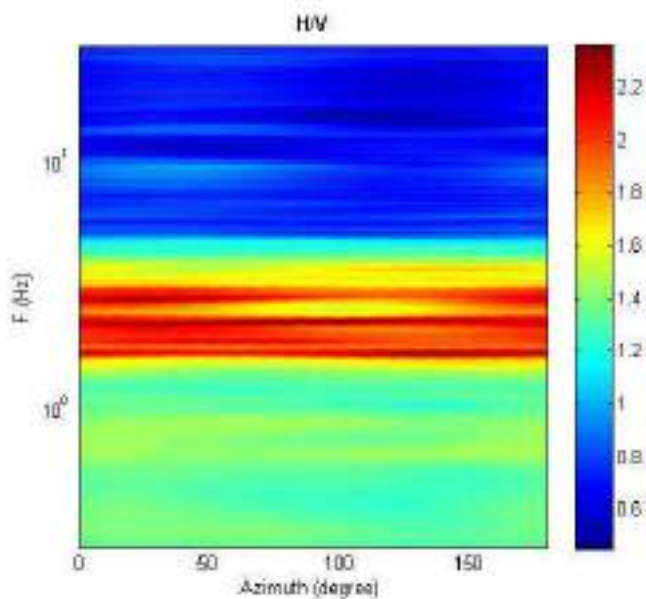
## TROMO\_5

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/VSR (also partly with MRSW or FEM data), save the HV curve; go to the 'Velocity Spectrums, Modeling & Fitting' panel and upload the saved HV curve

### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_5

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.3 ( $\pm 0.45$ )

Peak HVSR value: 2.4 ( $\pm 0.5$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 2.3 > 0.5 (OK)
- #2. [ $nc > 200$ ]: 10411 > 200 (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.5Hz (OK)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 4.8Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.4 > 2 (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]: 2.112 > 0.116 (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.519 < 1.58 (OK)

## TROMO\_6

Coordinate Gauss-Boaga: 1630608 4837815

Dataset: CLCN06.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 37.3

Tapering (%): 10

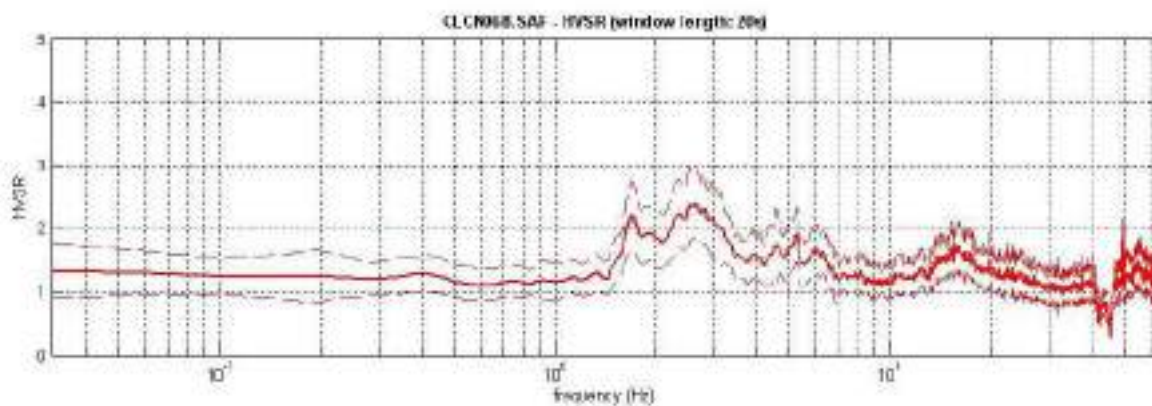
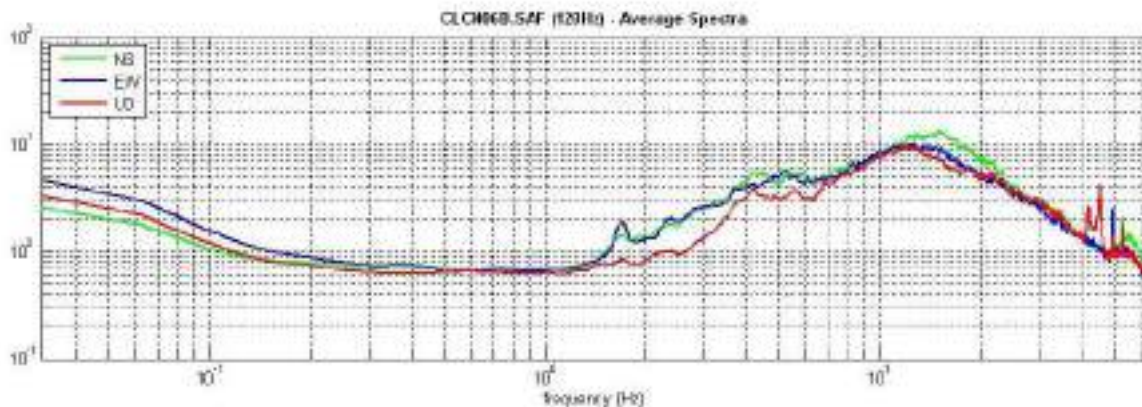
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 44: Stazione TROMO\_6

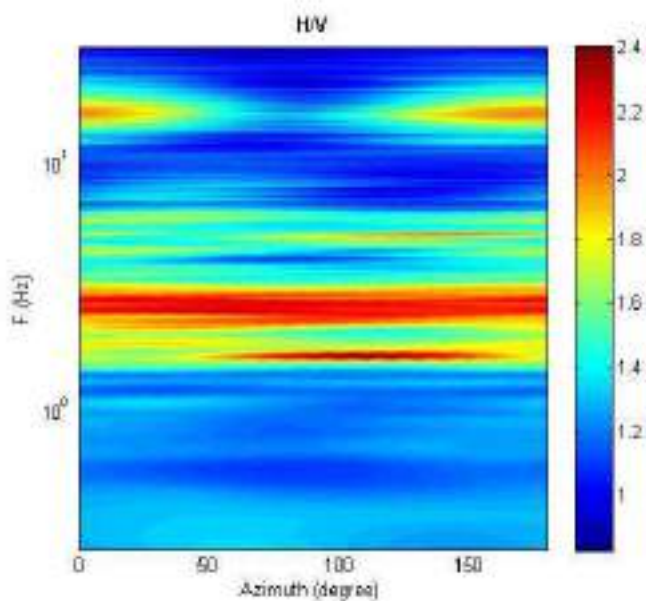
## TROMO\_6

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the HVSF (also jointly with MASW or FEM data), save the HVSF curve, go to the "Velocity Spectrums, Modeling & Picking" panels and upload the saved HVSF curves.

### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_6

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.6 ( $\pm 0.39$ )

Peak HVSR value: 2.4 ( $\pm 0.6$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 2.6 > 0.5 (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]: 11661 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.3Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 7.1Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.4 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]: 5.930 > 0.131 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.555 < 1.58 (OK)

## TROMO\_7

Coordinate Gauss-Boaga: 1629154 4838072

Dataset: CLCN07.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 28.7

Tapering (%): 10

Spectral smoothing (triangular window): 5%

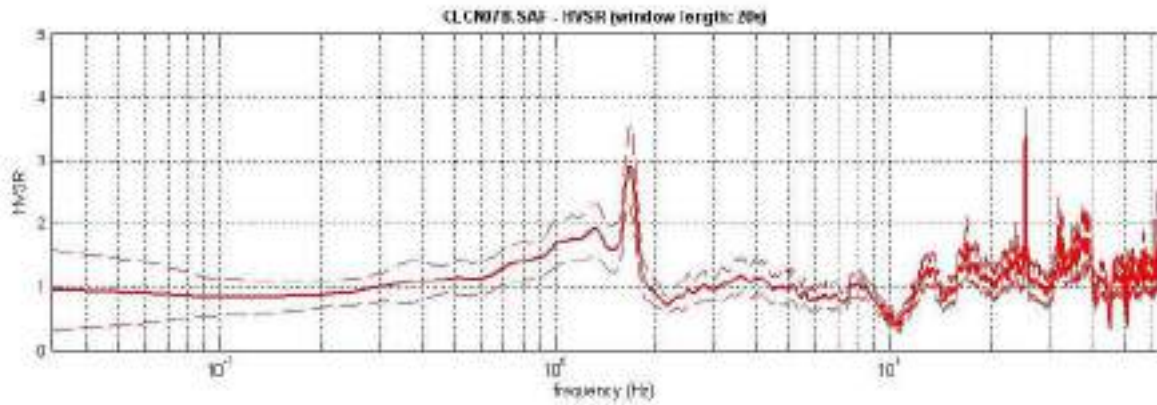
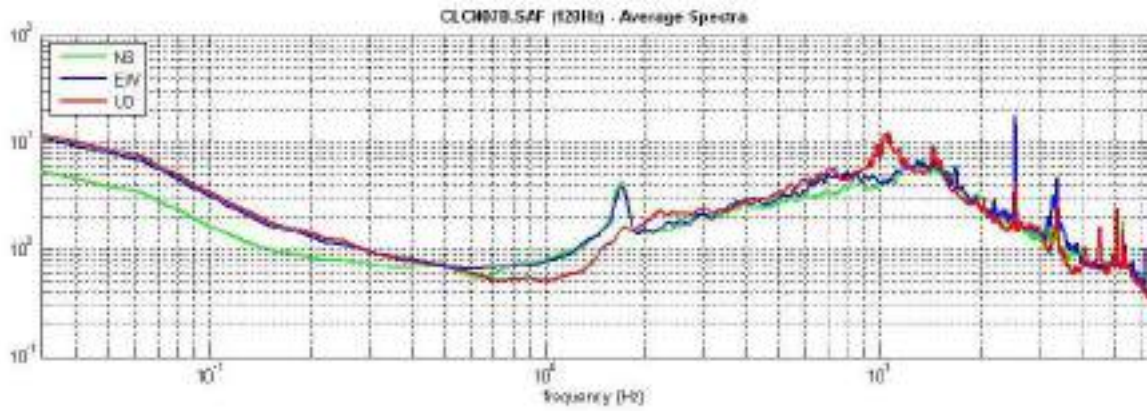


Figura 45: Stazione TROMO\_7



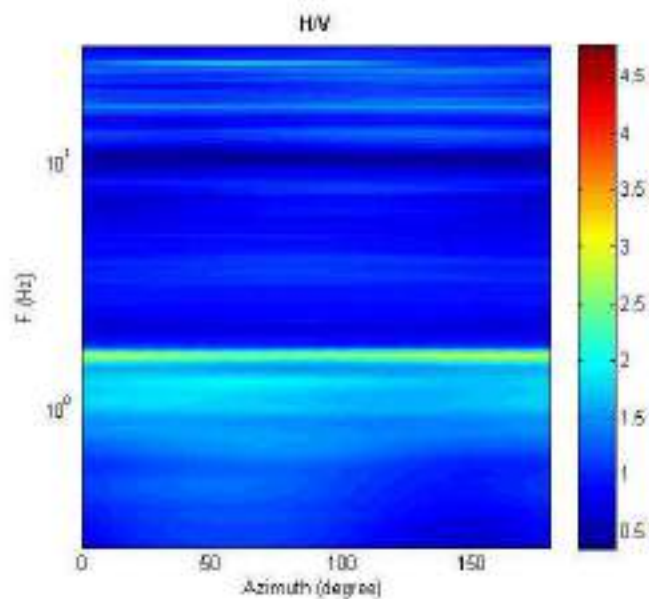
## TROMO\_7

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/VSR (also jointly with MASW or FEM data), save the H/V curve, go to the "Velocity Spectrums, Modeling & Picking" panel and upload the saved H/V curve.

### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_7

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.7 ( $\pm 0.20$ )

Peak HVSR value: 2.9 ( $\pm 0.7$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $1.7 > 0.5$  (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]:  $5774 > 200$  (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 0.9Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.8Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]:  $2.9 > 2$  (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]:  $7.262 > 0.169$  (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.590 < 1.78$  (OK)

## TROMO\_8

Coordinate Gauss-Boaga: 1630147 4838102

Dataset: CLCN08.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 38.1

Tapering (%): 10

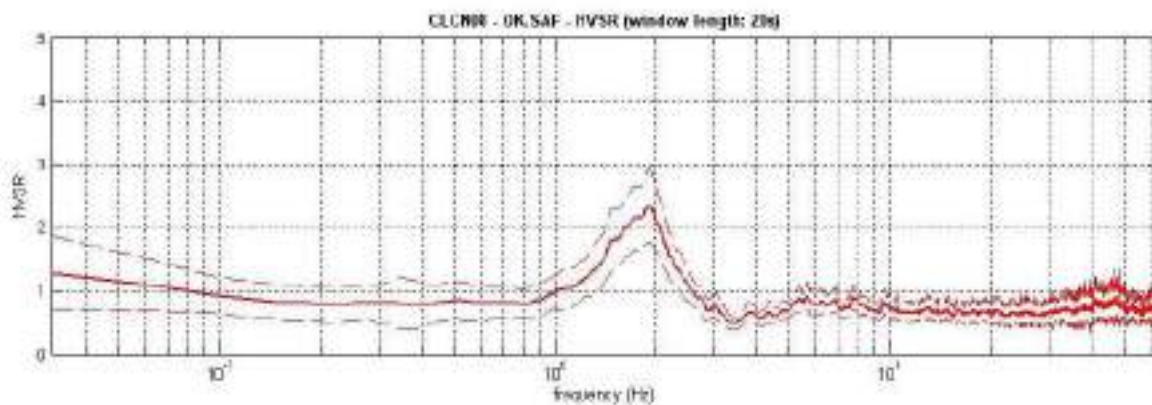
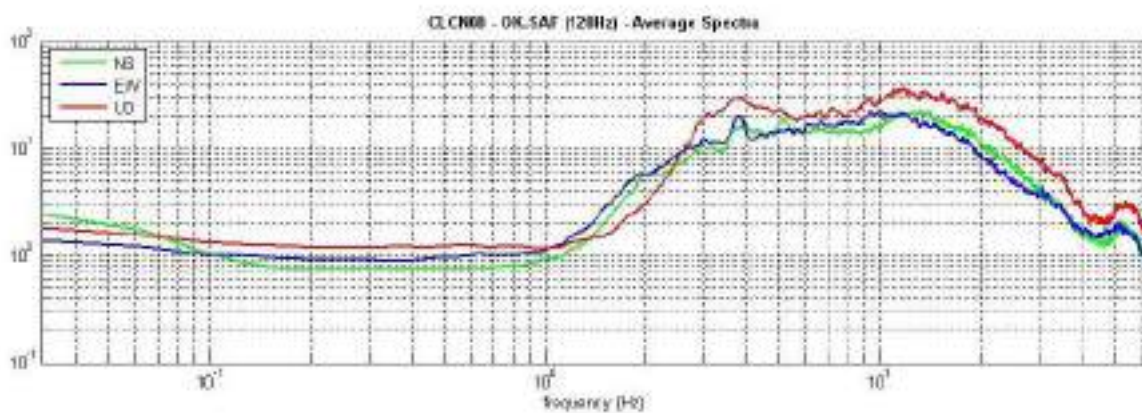
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 46: Stazione TROMO\_8

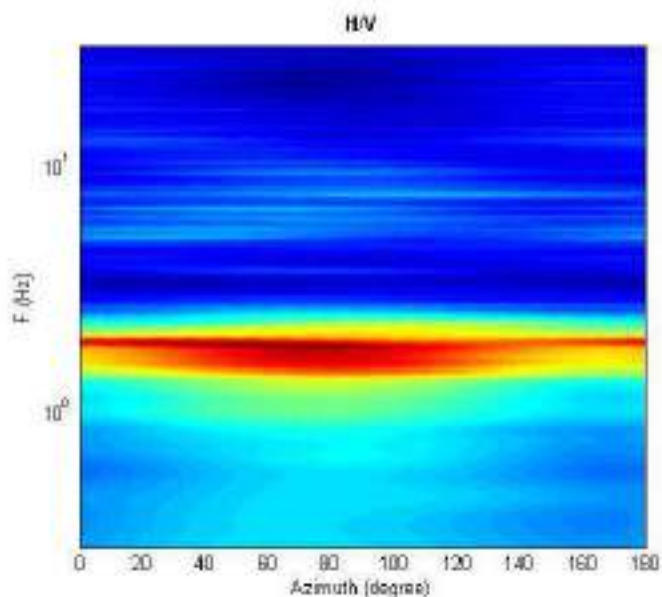
## TROMO\_8

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/VSR (also jointly with MASW or FEM data), zoom the H/V curve, go to the "Velocity Spectra, Modeling & Picking" panels and upload the zoomed H/V curve.

### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_8

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.9 ( $\pm 0.25$ )

Peak HVSR value: 2.4 ( $\pm 0.6$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 1.9 > 0.5 (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]: 8801 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.2Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.5Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.4 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]: 3.287 > 0.194 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.603 < 1.78 (OK)

## TROMO\_9

Coordinate Gauss-Boaga: 1630225 4837095

Dataset: CLCN09.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 29.2

Tapering (%): 10

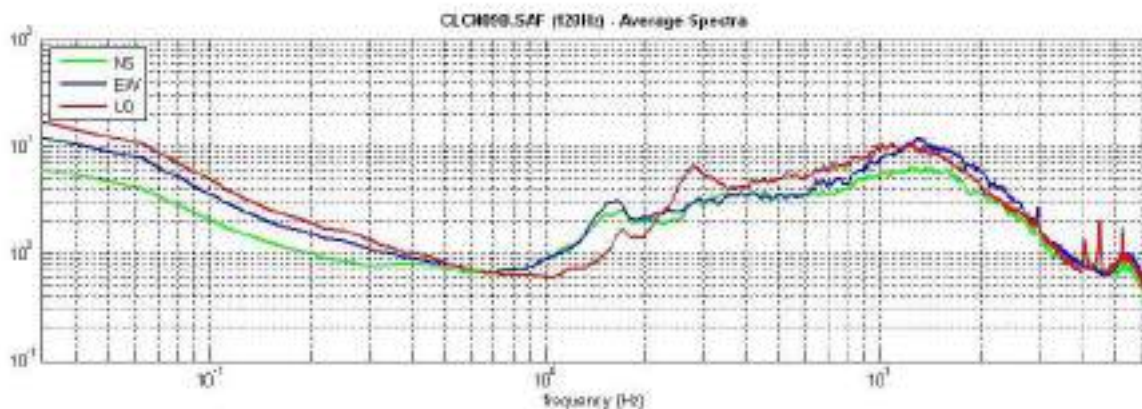
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 47: Stazione TROMO\_9

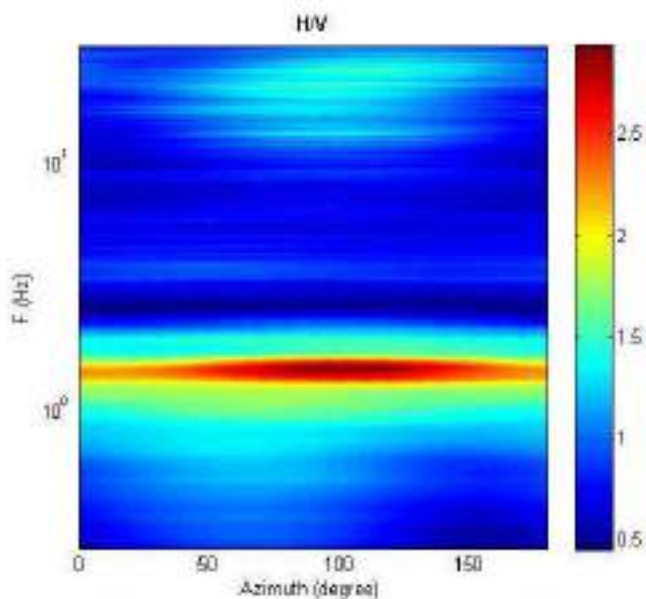
## TROMO\_9

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/VSR (also jointly with MASW or FEM data), open the H/V curve, go to the "Velocity Spectra, Modeling & Picking" panels and upload the saved H/V curve.

### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_9

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.5 ( $\pm 0.19$ )

Peak HVSR value: 2.8 ( $\pm 0.6$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/L_w$ ]:  $1.5 > 0.5$  (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]:  $5301 > 200$  (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.0Hz (OK)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.1Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]:  $2.8 > 2$  (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]:  $5.324 > 0.153$  (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.583 < 1.78$  (OK)



## TROMO\_10

Coordinate Gauss-Boaga: 1630045 4836635

Dataset: CLCN10.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 27.4

Tapering (%): 10

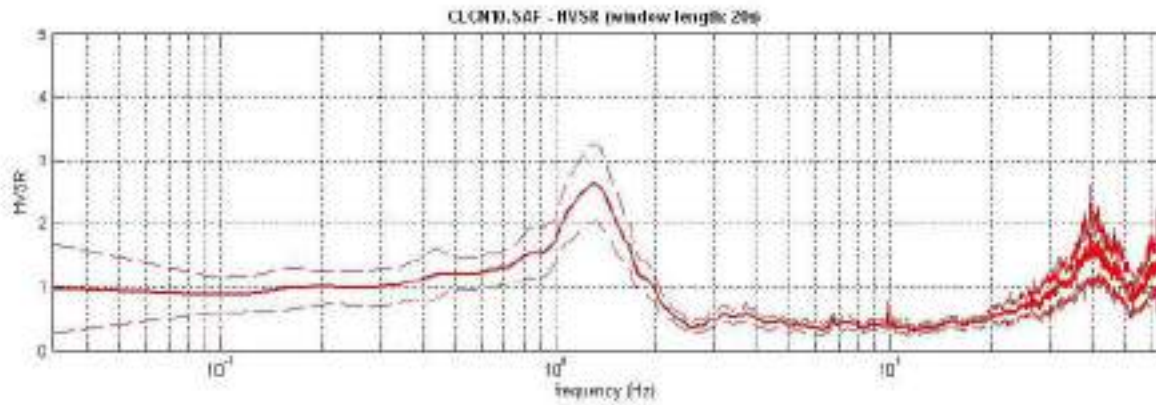
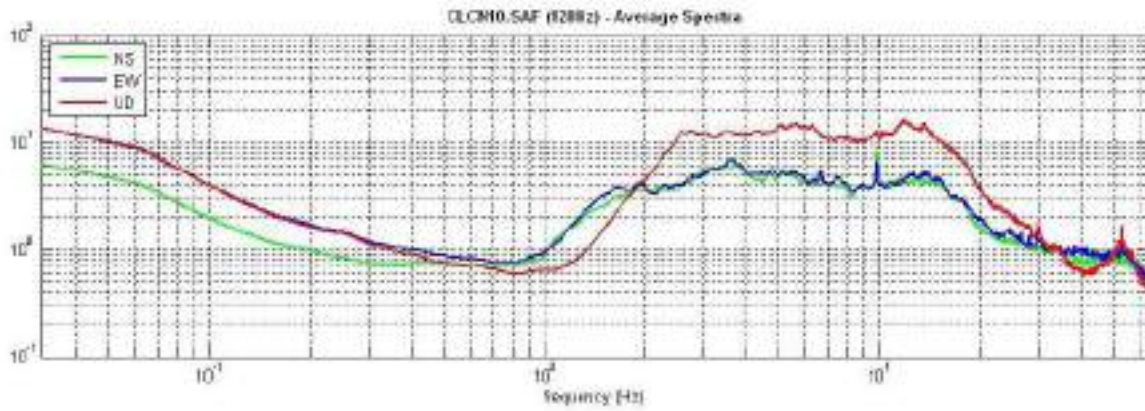
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 48: Stazione TROMO\_10

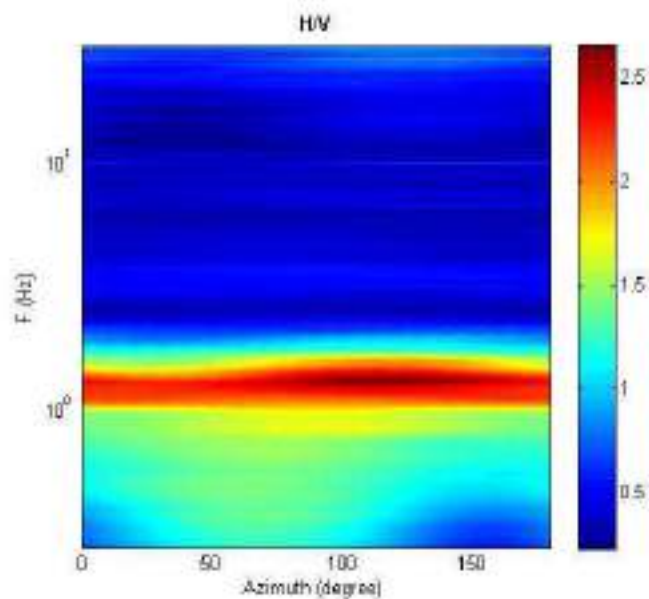
## TROMO\_10

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/VSR (also partly with MASW or PnM data), save the HV curves, go to the "Velocity Spectrums, Modeling & Fitting" panel, and apply the saved HV curve.

### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_10

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.3 ( $\pm 0.16$ )

Peak HVSR value: 2.7 ( $\pm 0.6$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $1.3 > 0.5$  (OK)

#2. [ $nc > 200$ ]:  $4383 > 200$  (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists f- in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 0.8Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.8Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]:  $2.7 > 2$  (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]:  $1.441 > 0.134$  (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.593 < 1.78$  (OK)

## TROMO\_11

Coordinate Gauss-Boaga: 1627369 4837791

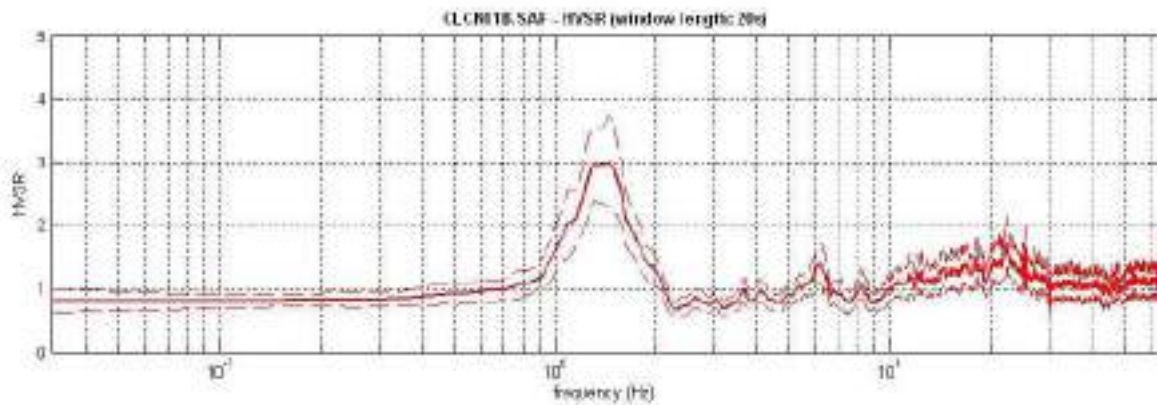
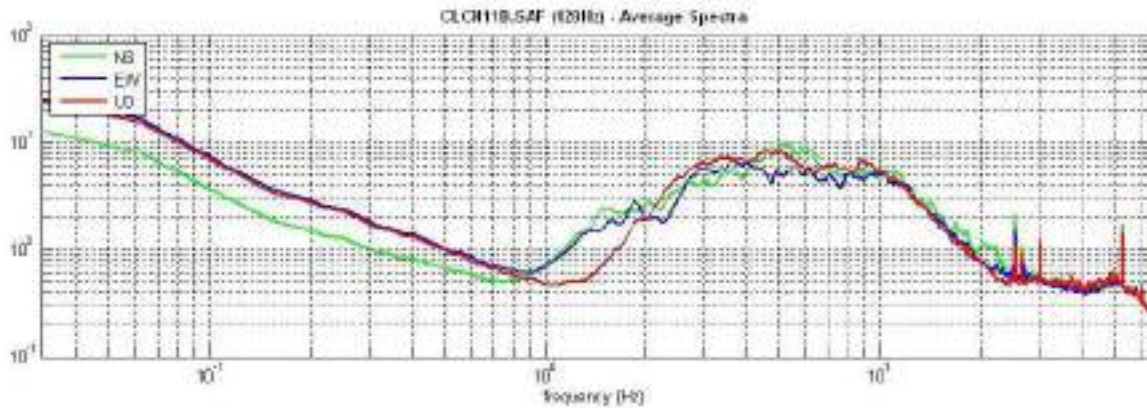
Dataset: CLCN11.SAF  
Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 38.9  
Tapering (%): 10  
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 49: Stazione TROMO\_11

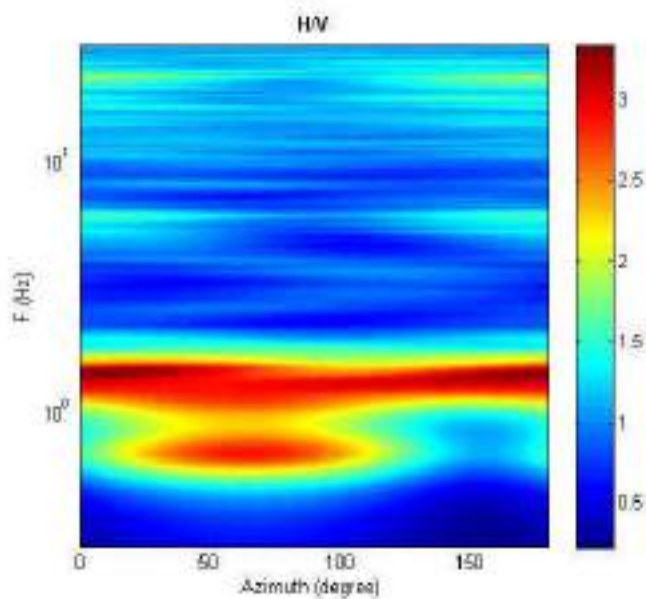
### TROMO\_11

#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the HVSF (also jointly with MASW or FEM data), save the HVSF curve, go to the "Velocity Spectrums, Modeling & Picking" panel and upload the saved HVSF curve.

#### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_11

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.5 ( $\pm 0.16$ )

Peak HVSR value: 3.0 ( $\pm 0.8$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $1.5 > 0.5$  (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]:  $6818 > 200$  (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

- #1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.0Hz (OK)
- #2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.9Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]:  $3.0 > 2$  (OK)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (NO)
- #5. [ $\sigma_{\text{f}} < \epsilon(f_0)$ ]:  $6.613 > 0.147$  (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.713 < 1.78$  (OK)

## TROMO\_12

Coordinate Gauss-Boaga: 1628630 4836640

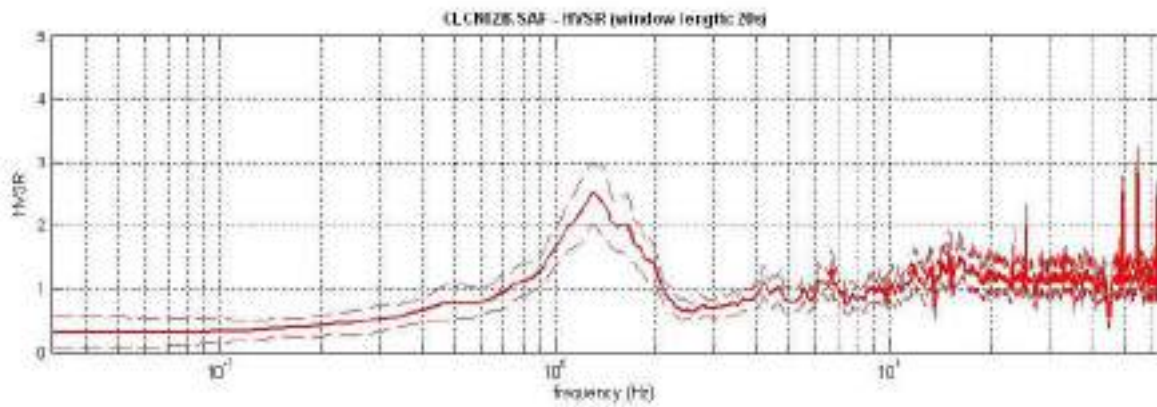
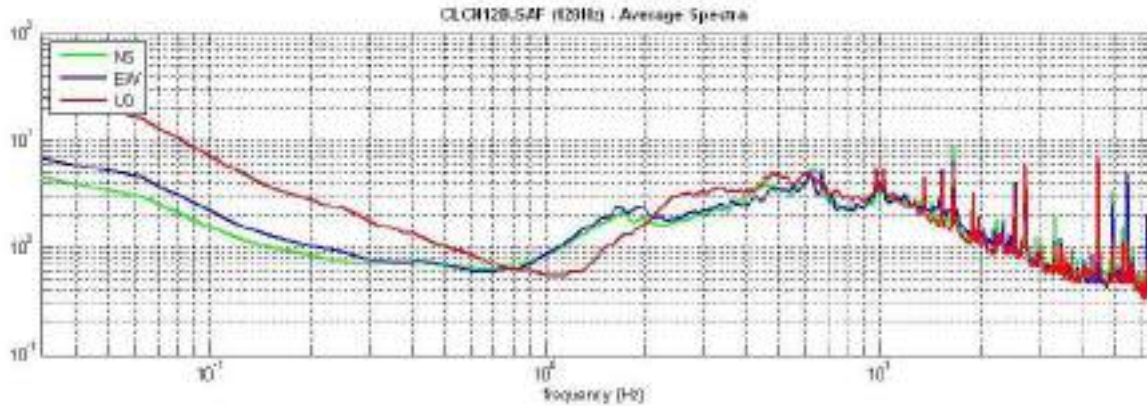
Dataset: CLCN12.SAF  
Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 29.7  
Tapering (%): 10  
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 50: Stazione TROMO\_12

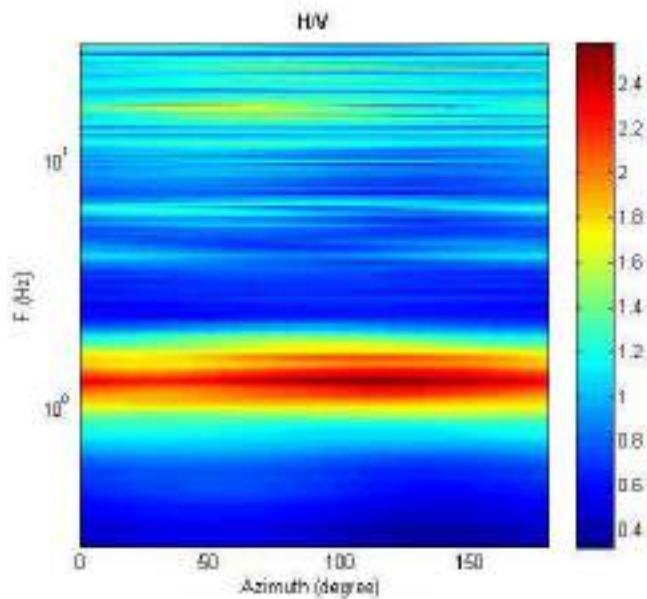
## TROMO\_12

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the H/V (also jointly with MASW or fEM data), save the H/V curve, go to the "Velocity Spectra, Modeling & Picking" panel and upload the saved H/V curve.

### DIREZIONALITA' H/V





## TROMO\_12

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.3 ( $\pm 0.22$ )

Peak HVSR value: 2.5 ( $\pm 0.5$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $1.3 > 0.5$  (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]:  $4649 > 200$  (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists  $f_-$  in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 0.9Hz (OK)

#2. [exists  $f_+$  in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.1Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]:  $2.5 > 2$  (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]:  $7.186 > 0.131$  (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.491 < 1.78$  (OK)

## TROMO\_13

Coordinate Gauss-Boaga: 1627900 4836583

Dataset: CLCN13.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 38.5

Tapering (%): 10

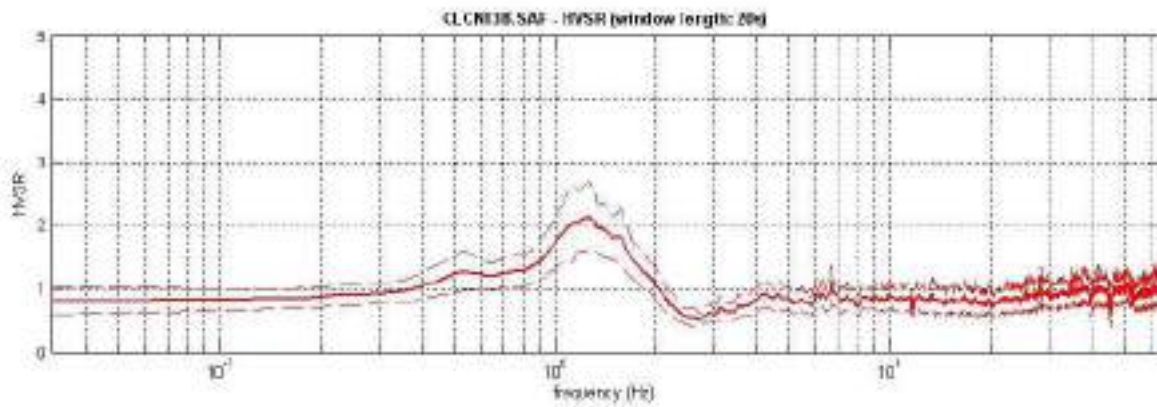
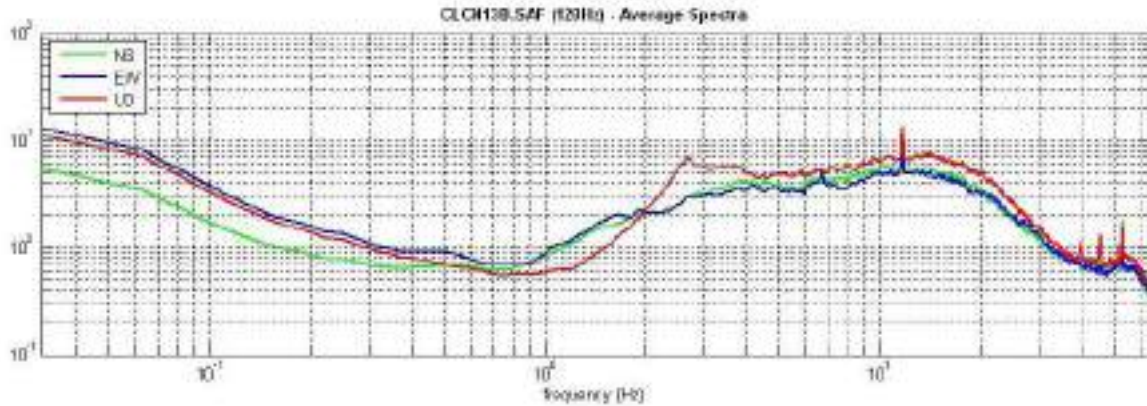
Spectral smoothing (triangular window): 5%



Figura 51: Stazione TROMO\_13

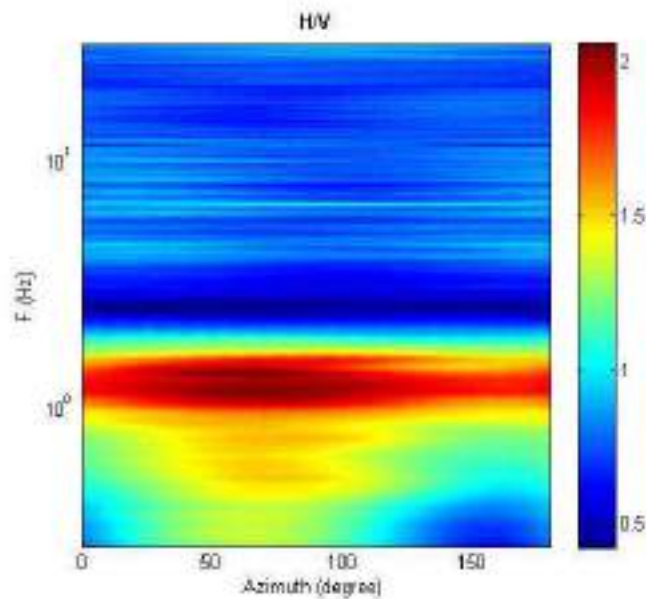
### TROMO\_13

#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



To model the HVSF (also jointly with MASW or FEM data), save the HVSF curve, go to the "Velocity Spectra and Modeling & Picking" panel and upload the saved HVSF curve.

#### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_13

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.3 ( $\pm 0.20$ )

Peak HVSR value: 2.1 ( $\pm 0.5$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/L_w$ ]: 1.3 > 0.5 (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]: 5871 > 200 (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists f- in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: (NO)

#2. [exists f+ in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.0Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]: 2.1 > 2 (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]: 5.581 > 0.128 (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.555 < 1.78 (OK)

## TROMO\_14

Coordinate Gauss-Boaga: 1627329 4836816

Dataset: CLCN14.SAF

Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 40.0

Tapering (%): 10

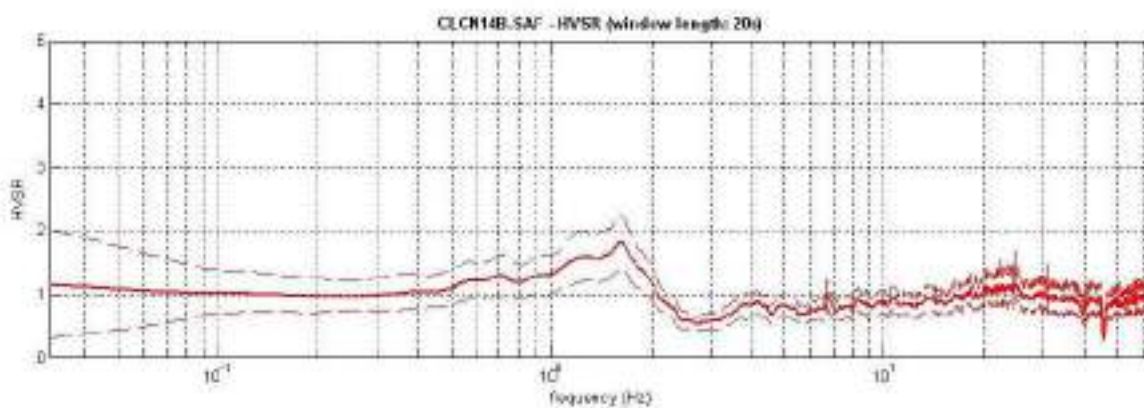
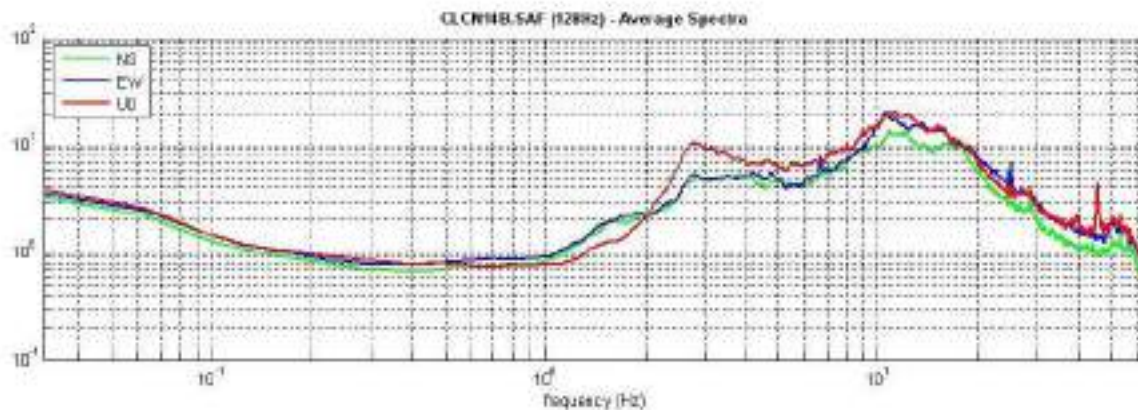
Spectral smoothing (triangular window): 5%



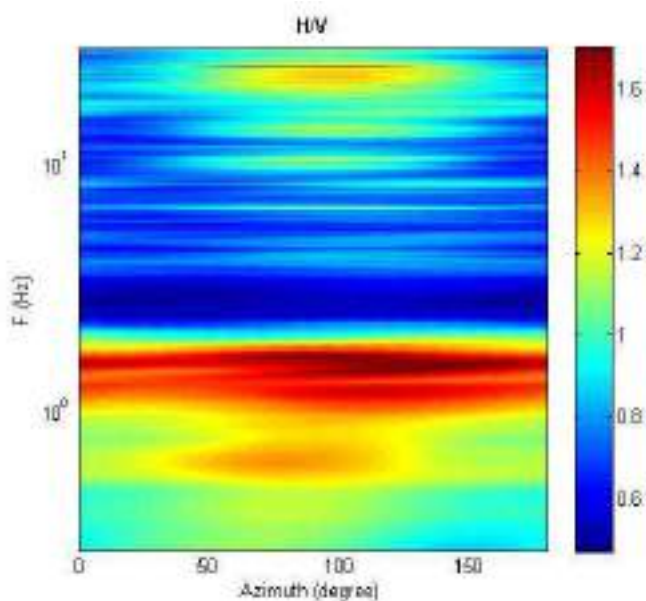
Figura 52: Stazione TROMO\_14

## TROMO\_14

### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_14

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.7 ( $\pm 0.25$ )

Peak HVSR value: 1.8 ( $\pm 0.4$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]: 1.7 > 0.5 (OK)
- #2. [ $n_c > 200$ ]: 7888 > 200 (OK)
- #3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

- #1. [exists f- in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: (NO)
- #2. [exists f+ in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.2Hz (OK)
- #3. [ $A_0 > 2$ ]: 1.8 < 2 (NO)
- #4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)
- #5. [ $\sigma_f < \epsilon(f_0)$ ]: 6.849 > 0.166 (NO)
- #6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]: 0.440 < 1.78 (OK)

## TROMO\_15

Coordinate Gauss-Boaga: 1626679 4836506

Dataset: CLCN\_15.SAF  
Sampling frequency (Hz): 128 (*resampled*)  
Window length (sec): 20  
Length of analysed temporal sequence (min): 31.2  
Tapering (%): 10  
Spectral smoothing (triangular window): 5%

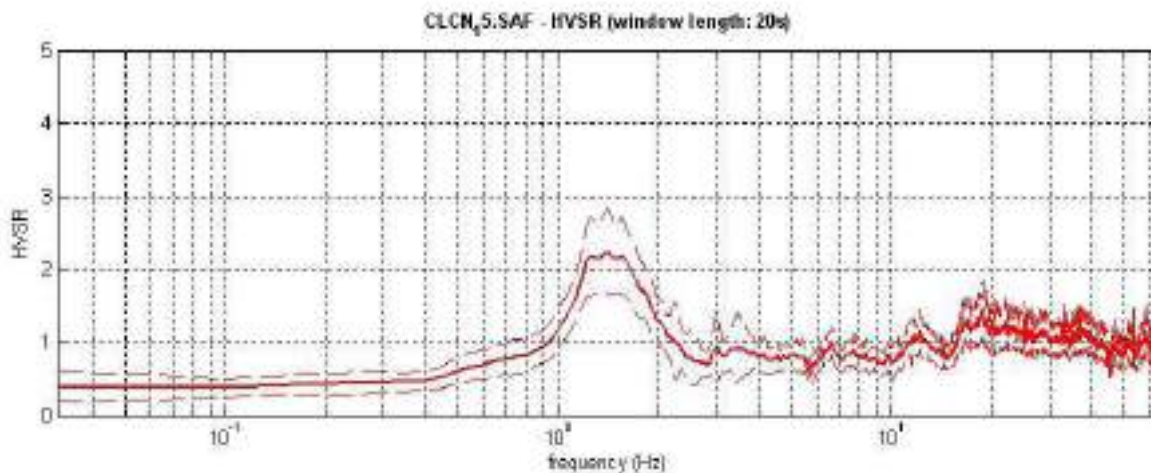
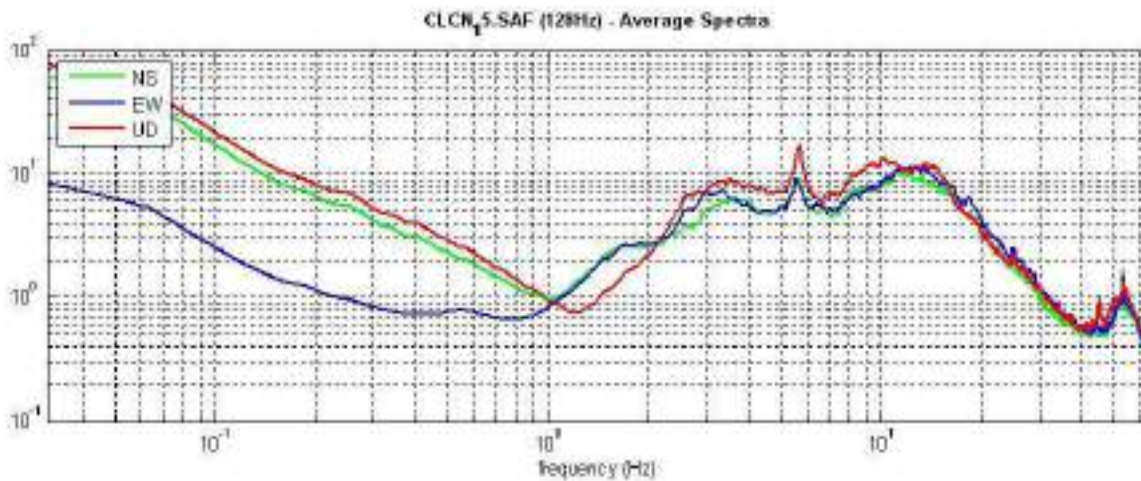


Figura 53: Stazione TROMO\_15

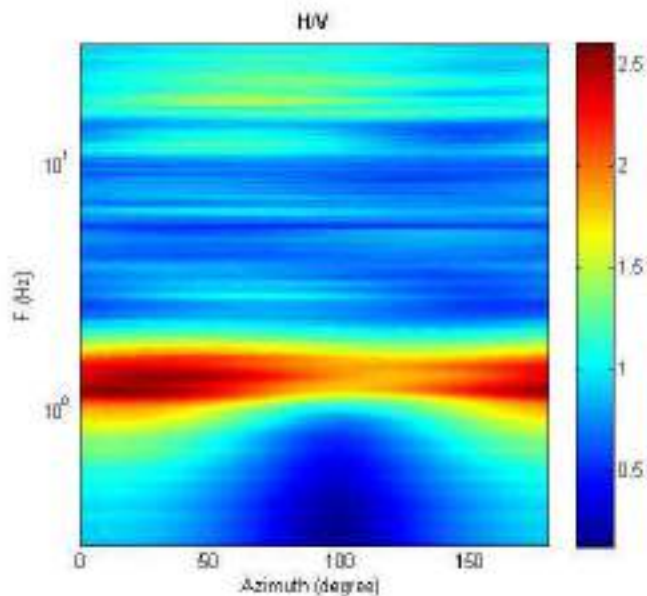


### TROMO\_15

#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI - RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



#### DIREZIONALITA' H/V



## TROMO\_15

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.4 ( $\pm 0.22$ )

Peak HVSR value: 2.2 ( $\pm 0.6$ )

### Check-list corrispondenza analisi agli standard SESAME

#### === Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [ $f_0 > 10/Lw$ ]:  $1.4 > 0.5$  (OK)

#2. [ $n_c > 200$ ]:  $5350 > 200$  (OK)

#3. [ $f_0 > 0.5\text{Hz}$ ;  $\sigma_A(f) < 2$  for  $0.5f_0 < f < 2f_0$ ] (OK)

#### === Criteria for a clear H/V peak =====

#1. [exists f- in the range [ $f_0/4, f_0$ ] |  $AH/V(f_-) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 1.0Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [ $f_0, 4f_0$ ] |  $AH/V(f_+) < A_0/2$ ]: yes, at frequency 2.2Hz (OK)

#3. [ $A_0 > 2$ ]:  $2.2 > 2$  (OK)

#4. [ $f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ ]: (OK)

#5. [ $\sigma_{Af} < \epsilon(f_0)$ ]:  $7.537 > 0.144$  (NO)

#6. [ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ ]:  $0.590 < 1.78$  (OK)

## ***ANALISI DEI RISULTATI DELLE INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR***

Analizzando i dati in termini frequenziali si può evidenziare una sostanziale uniformità dei dati ottenuti ed il sottosuolo delle aree indagate presenta picchi del rapporto H/V di interesse sismico e geotecnico.

Le misure presentano picchi HVSR per frequenze comprese tra 1.2 e 2.6 Hz con valori compresi tra 1.8 e 3.1.

I risultati quindi presentano un range di variabilità limitato delle frequenze di picco ed un basso valore del picco HVSR indice di un non elevato contrasto d'impedenza sismica.

La frequenza propria di sito è indicata dalla seguente nota formula:

$$(f_r) = V_s/4H$$

dove:

$V_s$  =  $V_s$  media sino al *bedrock*

H = spessore dei sedimenti sovrastanti il *bedrock* (*piu esattamente, orizzonte con forte contrasto di  $V_s$ , che da origine ad un picco dell'H/V*).

Utilizzando quindi tale formula ed i dati in nostro possesso delle  $V_s$  medie superficiali, possiamo indicare, per i picchi rilevati, discontinuità sismo stratigrafiche a profondità dell'ordine dei 25 - 40 m, presumibilmente dovute al passaggio tra i depositi superficiali prevalentemente argilloso sabbiosi (da poco a mediamente addensati-compatti) e le ghiaie sottostanti.

## INDAGINI SISMICHE A RIFRAZIONE

### SISMICA A RIFRAZIONE - GENERALITA'

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo. Nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (*geofoni*) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (*Legge di Snell*), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (*geofoni*) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un cronografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (*dromocrona*) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) o trasversali ( $V_s$ ) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità  $V_p$  dell'ordine di 1400÷1700 m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");

- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;

- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

I metodi di elaborazione, come il *CMP Intercept Time Refraction* (Rühl, 1995), consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti anche in presenza di morfologie di superficie non piane e la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

## **SISTEMA DI ACQUISIZIONE**

Sono state effettuate n° 5 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni, in onde P ed SH.

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sistema composto dalle seguenti parti:

- sismografo
- sorgente energizzante
- trigger
- apparecchiatura di ricezione

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico AMBROGEO modello Echo 24/2002 a 16 bit.

Come sorgente energizzante per le onde P è stata utilizzato un grave di 90 kg.

Come sorgente energizzante per le onde SH è stata utilizzata una traversina di legno percossa alle estremità da una mazza da 10 kg.

Il trigger utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un apparecchio starter (geofono starter, starter a lamelle, piezoelettrico od altro) nell'istante in cui il sistema energizzante (maglio, mazza etc.) colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

Per la ricezione delle onde P sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Geospace Oyo con frequenza propria di 14 Hz.

## Indagini geofisiche - studio di microzonazione sismica di livello 1

Per la ricezione delle onde SH sono stati utilizzati 24 geofoni verticali Geospace Oyo con frequenza propria di 10 Hz.

Il risultato finale della fase di acquisizione è costituito da una serie di files in formato SEG Y.

Di seguito è illustrato lo schema di acquisizione delle linee (lunghezza, posizione dei punti di energizzazione, etc.).

ST1 ST2 ST3 ST4 ST5: interasse  $i = 5$  m - lunghezza ml 115, in onde P ed SH.



Per i profili sismici sono state realizzate ed utilizzate nell'interpretazione le seguenti sette registrazioni per profilo:

Shot N°	Codice	Posizione	ST1 files (ondeP ed SH)	ST2 files (ondeP ed SH)	ST3 files (ondeP ed SH)	ST4 files (ondeP ed SH)	ST5 files (ondeP ed SH)
1	E1	Esterno a sx	Rifr_1_P/1.segy Rifr_1_S/1.segy	Rifr_2_P/1.segy Rifr_2_S/1.segy	Rifr_3_P/1.segy Rifr_3_S/1.segy	Rifr_4_P/1.segy Rifr_4_S/1.segy	Rifr_5_P/1.segy Rifr_5_S/1.segy
2	A	Estremo a sx	Rifr_1_P/2.segy Rifr_1_S/2.segy	Rifr_2_P/2.segy Rifr_2_S/2.segy	Rifr_3_P/2.segy Rifr_3_S/2.segy	Rifr_4_P/2.segy Rifr_4_S/2.segy	Rifr_5_P/2.segy Rifr_5_S/2.segy
3	D1	Intermedio a sx	Rifr_1_P/3.segy Rifr_1_S/3.segy	Rifr_2_P/3.segy Rifr_2_S/3.segy	Rifr_3_P/3.segy Rifr_3_S/3.segy	Rifr_4_P/3.segy Rifr_4_S/3.segy	Rifr_5_P/3.segy Rifr_5_S/3.segy
4	C	Centrale	Rifr_1_P/4.segy Rifr_1_S/4.segy	Rifr_2_P/4.segy Rifr_2_S/4.segy	Rifr_3_P/4.segy Rifr_3_S/4.segy	Rifr_4_P/4.segy Rifr_4_S/4.segy	Rifr_5_P/4.segy Rifr_5_S/4.segy
5	D2	Intermedio a dx	Rifr_1_P/5.segy Rifr_1_S/5.segy	Rifr_2_P/5.segy Rifr_2_S/5.segy	Rifr_3_P/5.segy Rifr_3_S/5.segy	Rifr_4_P/5.segy Rifr_4_S/5.segy	Rifr_5_P/5.segy Rifr_5_S/5.segy
6	B	Estremo a dx	Rifr_1_P/6.segy Rifr_1_S/6.segy	Rifr_2_P/6.segy Rifr_2_S/6.segy	Rifr_3_P/6.segy Rifr_3_S/6.segy	Rifr_4_P/6.segy Rifr_4_S/6.segy	Rifr_5_P/6.segy Rifr_5_S/6.segy
7	E2	Esterno a dx	Rifr_1_P/7.segy Rifr_1_S/7.segy	Rifr_2_P/6.segy Rifr_2_S/6.segy	Rifr_3_P/7.segy Rifr_3_S/7.segy	Rifr_4_P/7.segy Rifr_4_S/7.segy	Rifr_5_P/7.segy Rifr_5_S/7.segy



Figura 54: Sistema di energizzazione per le onde P



Figura 55: Sistema di energizzazione per le onde SH

Le coordinate di inizio e fine linea sono di seguito riportate insieme alle foto di ciascun stendimento:

<b>COORDINATE GAUSS-BOAGA ST1</b>	
Geofono 1 - G1	1630395 ; 4837041
Geofono 24 - G24	1630372 ; 4836927



**Figura 56: Stendimento sismico a rifrazione ST1**



<b>COORDINATE GAUSS-BOAGA ST2</b>	
Geofono 1 - G1	1628082 ; 4836950
Geofono 24 - G24	1628137 ; 4836963



Figura 57: Stendimento sismico a rifrazione ST2

COORDINATE GAUSS-BOAGA ST3	
Geofono 1 - G1	1630013 ; 4839876
Geofono 24 - G24	1630088 ; 4839988



Figura 58: Stendimento sismico a rifrazione ST3

COORDINATE GAUSS-BOAGA ST4	
Geofono 1 - G1	1627588 ; 4837954
Geofono 24 - G24	1627468 ; 4837613



Figura 59: Stendimento sismico a rifrazione ST4

<b>COORDINATE GAUSS-BOAGA ST5</b>	
Geofono 1 - G1	1630103 ; 4838320
Geofono 24 - G24	1629985 ; 4838331



Figura 60: Stendimento sismico a rifrazione ST5

## ***ELABORAZIONE DEI DATI***

La successiva elaborazione dei dati, eseguita con il programma *RAYFRACT 3.21 (Intelligent Resources)*, si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei primi arrivi;
2. interpretazione con il metodo *CMP Intercept Time Refraction (Rühl, 1995)*;
3. output dei tabulati:
  - dati di scoppio (ascissa e quota dei geofoni e dei punti di energizzazione, tempi di primo arrivo)
  - velocità e profondità calcolate per ciascun strato individuato
4. output delle dromocrone sismiche
5. sezione sismostratigrafica interpretativa

## ***ANALISI DEI RISULTATI DELLE PROSPEZIONI SISMICHE***

Dall' analisi dei profili risulta che, per le linee ST1, ST2 e ST3, le onde SH non hanno evidenziato un rifratore ben marcato, ma solo un lieve aumento delle velocità nei primi metri di profondità, questo fatto ha reso difficoltosa l'interpretazione dei dati nella definizione degli spessori dei sismostrati.

I dati ottenuti con le onde P sono invece influenzati dalla presenza dell' acqua ed hanno evidenziato un rifratore dovuto soprattutto al maggior grado di umidità o alla presenza della falda acquifera più che ad un aumento di consistenza del terreno.

Analizzando poi i dati ottenuti con altre metodologie di indagine geofisica eseguite, (indagini MASW) risulta, nelle aree adiacenti a tali linee, un' inversione di velocità delle onde SH nei primi metri di profondità.

Le sezioni sismiche a rifrazione a causa dei limiti propri di tale metodologia (vedi "generalità") non evidenziano tale inversione, portando presumibilmente, in particolar modo per le linee ST1 ST2 ST3, ad una sovrastima delle velocità delle onde sismiche in profondità.

In dettaglio si ha, con riferimento alle sezioni sismostratigrafiche interpretative allegate:

**Profilo ST1 (Linee ST1-1202271 ondeP; ST1-1202272 onde sh):**

- dalla superficie fino a circa 6-7 m di profondità si incontra un primo strato a bassa velocità ( $V_p = 480\div 520$  m/sec;  $V_s = 179\div 181$  m/sec) correlabile con il terreno agrario e/o i limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose e sabbie, da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera; all'interno di questo strato è presente un rifratore in onde SH a 1-2 m di profondità con velocità dello strato individuato di poco superiori ( $V_s = 188\div 191$  m/sec);
- segue un secondo ed ultimo strato strato, individuato dalle sole onde P, caratterizzato da velocità  $V_p = 1050\div 1120$  m/sec e  $V_s = 188\div 191$  m/sec, riferibile ai limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose e sabbie, più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante.

**Profilo ST2 (Linee ST2-1202281 ondeP; ST2-1202282 onde sh):**

- dalla superficie fino a circa 4-5 m di profondità si incontra un primo strato a bassa velocità ( $V_p = 680\div 720$  m/sec;  $V_s = 180\div 182$  m/sec) correlabile con il terreno agrario e/o i limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose e sabbie, da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera; all'interno di questo strato è presente un rifratore in onde SH a 1-2 m di profondità con velocità dello strato individuato di poco superiori ( $V_s = 185\div 188$  m/sec);
- segue un secondo ed ultimo strato strato, individuato dalle sole onde P, caratterizzato da velocità  $V_p = 980\div 1046$  m/sec e  $V_s = 185\div 188$  m/sec, riferibile ai limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose e sabbie, più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante.

**Profilo ST3 (Linee ST3-1202291 ondeP; ST3-1202292 onde sh):**

- dalla superficie fino a circa 2-9 m di profondità si incontra un primo strato a bassa velocità ( $V_p = 680\div 840$  m/sec;  $V_s = 200$  m/sec) correlabile con il terreno agrario e/o i limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose e sabbie da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera;
- segue un secondo ed ultimo strato strato, individuato dalle sole onde P, caratterizzato da velocità  $V_p = 980\div 1046$  m/sec e  $V_s = 200$  m/sec, riferibile ai limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose e sabbie, più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante, all'interno di questo strato è presente un rifratore in onde SH a 7-10 m di profondità con velocità dello strato individuato di poco superiori ( $V_s = 207\div 233$  m/sec).

**Profilo ST4 (Linee ST4-1203051 ondeP; ST1-1203052 onde sh):**

- dalla superficie fino a circa 8 m di profondità si incontra un primo strato a bassa velocità ( $V_p = 360\div 375$  m/sec;  $V_s = 180\div 181$  m/sec) correlabile con il terreno agrario e/o i limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera; all'interno di questo strato è presente un rifrattore in onde SH a 0.5-3 m di profondità con velocità dello strato individuato di poco superiori ( $V_s = 211\div 231$  m/sec);
- segue un secondo strato, individuato dalle sole onde P, caratterizzato da velocità  $V_p = 1108$  m/sec e  $V_s = 211\div 231$  m/sec, riferibile ai limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie, più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante, la cui base si spinge a profondità variabili tra 15÷17 m;
- segue un terzo ed ultimo strato, caratterizzato da velocità  $V_p = 1450\div 1610$  m/sec e  $V_s = 248\div 352$  m/sec, riferibili ai limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie da mediamente a molto addensati-compatti presumibilmente sotto falda.

**Profilo ST5 (Linee ST5-1203081 ondeP; ST5-1203082 onde sh):**

- dalla superficie fino a circa 1-3 m di profondità si incontra un primo strato a bassa velocità ( $V_p = 505\div 520$  m/sec;  $V_s = 177\div 180$  m/sec) correlabile con il terreno agrario e/o i limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera;
- segue un secondo strato, caratterizzato da velocità  $V_p = 950\div 1107$  m/sec e  $V_s = 197\div 230$  m/sec, riferibile ai limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante, la cui base si spinge a profondità variabili tra 18÷25 m;
- segue un terzo ed ultimo strato, caratterizzato da velocità  $V_p = 1440\div 1880$  m/sec e  $V_s = 400\div 430$  m/sec, riferibili ai limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie molto addensati-compatti e/o alle ghiaie mediamente addensate presumibilmente sotto falda.

\*\*\*\*\*

San Giuliano Terme (PI),

21 maggio 2012

**GAIA Servizi S.n.c.**

**Dott. Jacopo Martini**

**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozzi & C.  
Via Lenin 132 - 56017 S. Giuliano T. (PI)  
P. IVA 01667250508 N. REA PI - 145167

---

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508



Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. IT12/0149  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



**PROVINCIA DI PISA  
COMUNE DI CALCINAIA**

**INDAGINI GEOFISICHE**

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1**

**ALLEGATO 1**

**PLANIMETRIE**

**MASW**

---

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)


Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508



# AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

## PROSPEZIONI SISMICHE MASW

### PLANIMETRIA Scala 1:5000

 Linea sismica MASW

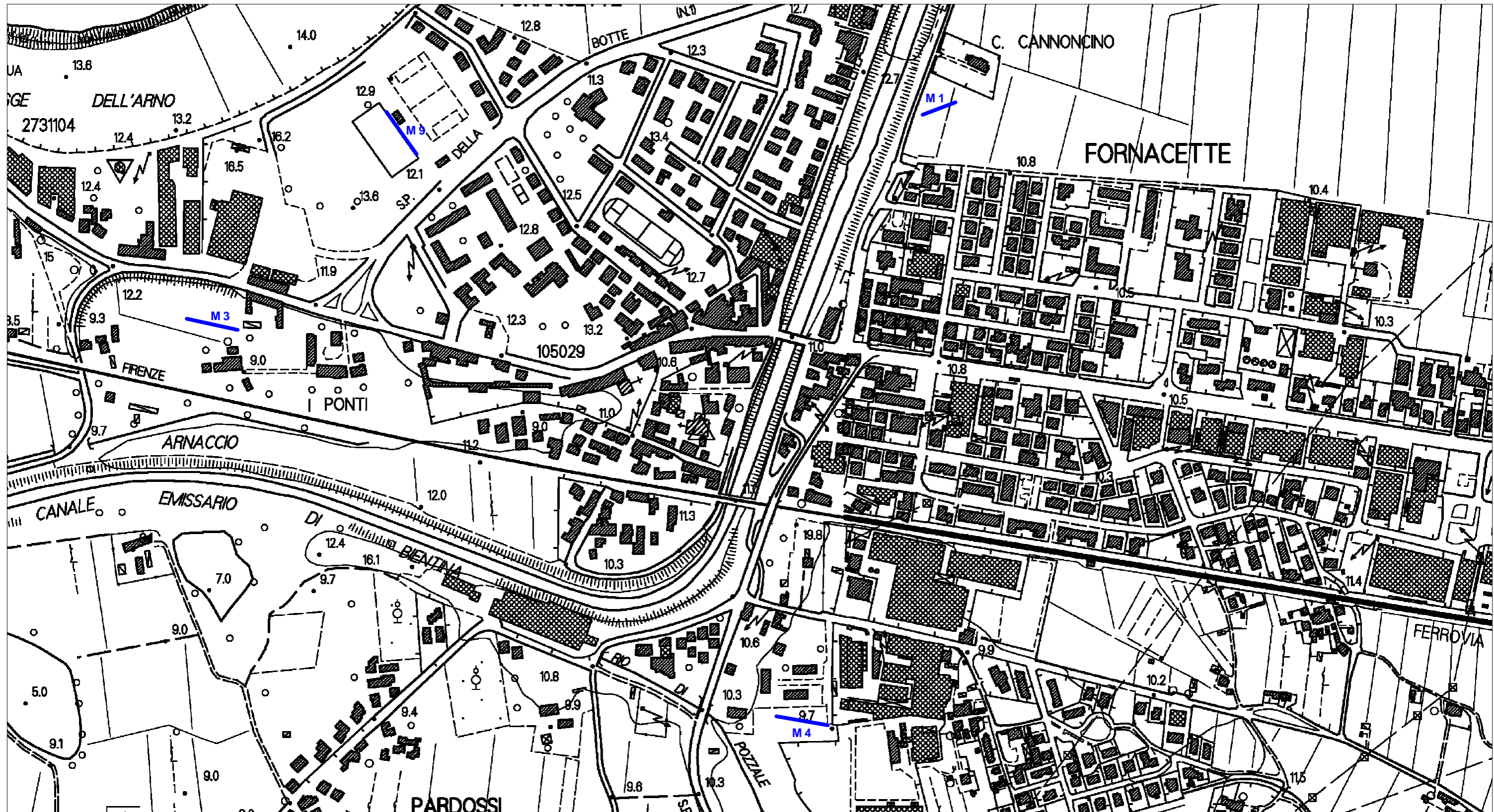


AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA  
PROSPEZIONI SISMICHE MASW



— Linea sismica MASW

PLANIMETRIA Scala 1:5000

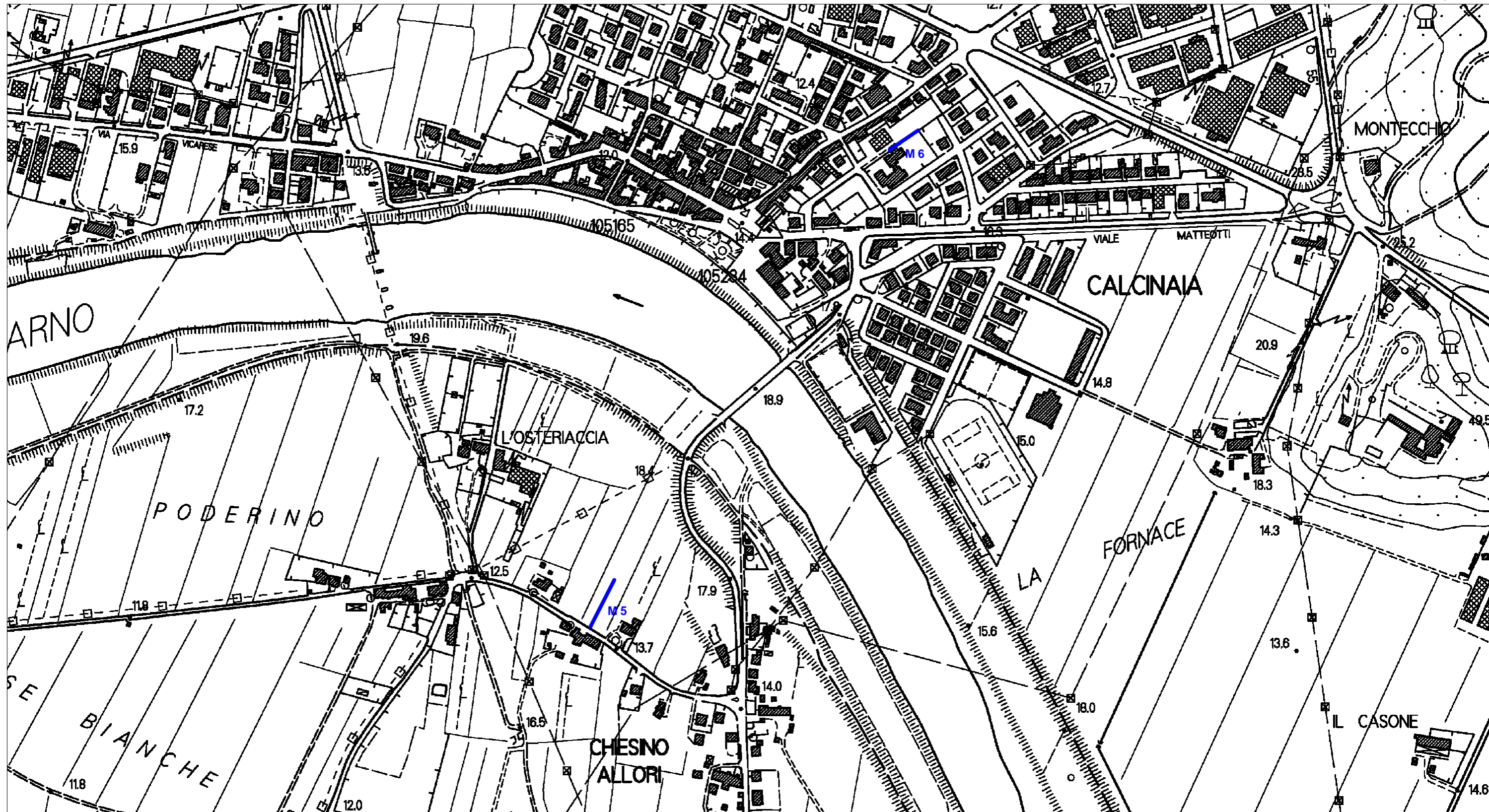


AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA  
PROSPEZIONI SISMICHE MASW



— Linea sismica MASW

PLANIMETRIA Scala 1:5000



AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA  
PROSPEZIONI SISMICHE MASW



Linea sismica MASW

PLANIMETRIA Scala 1:5000



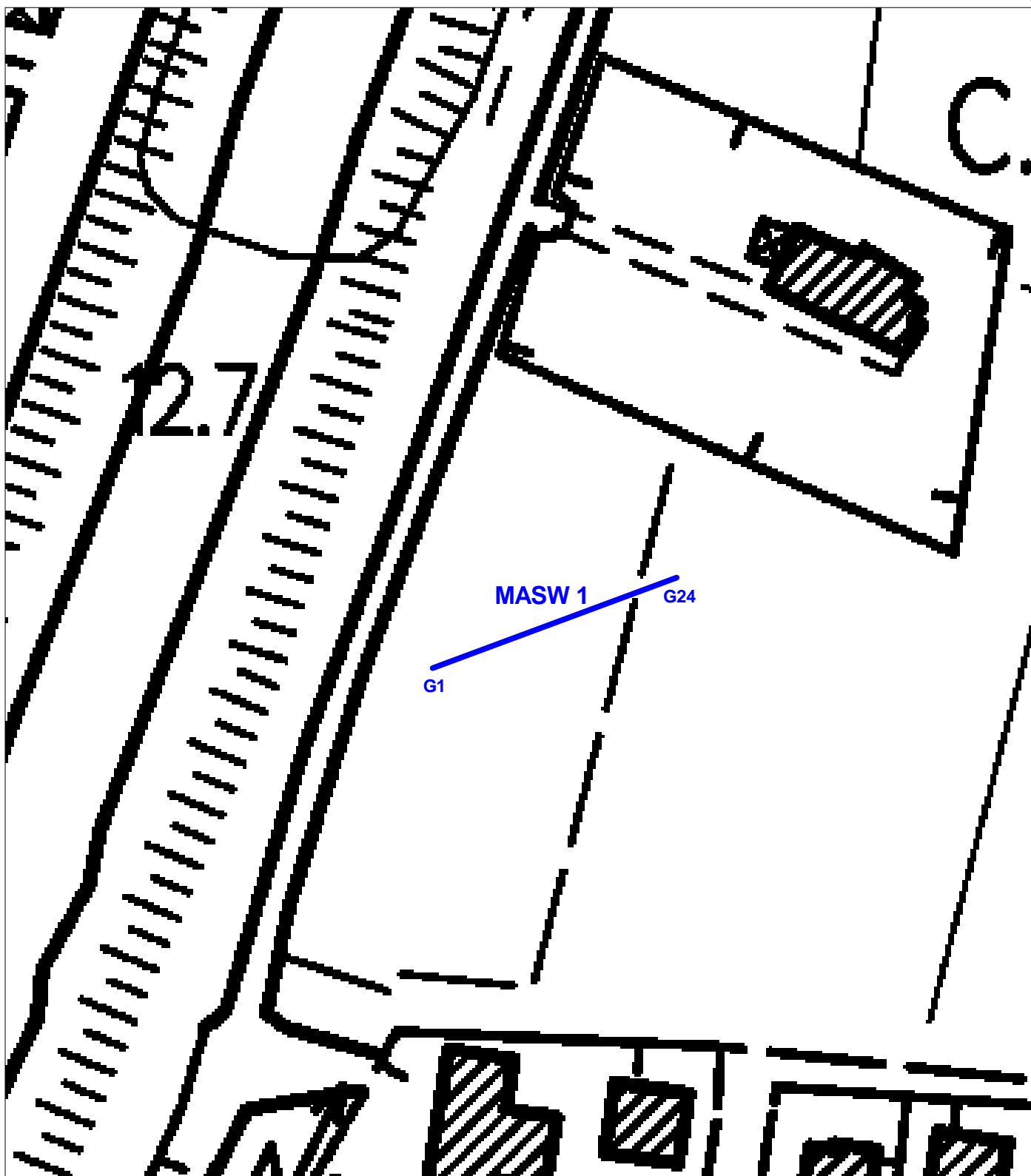
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



— Linea sismica MASW



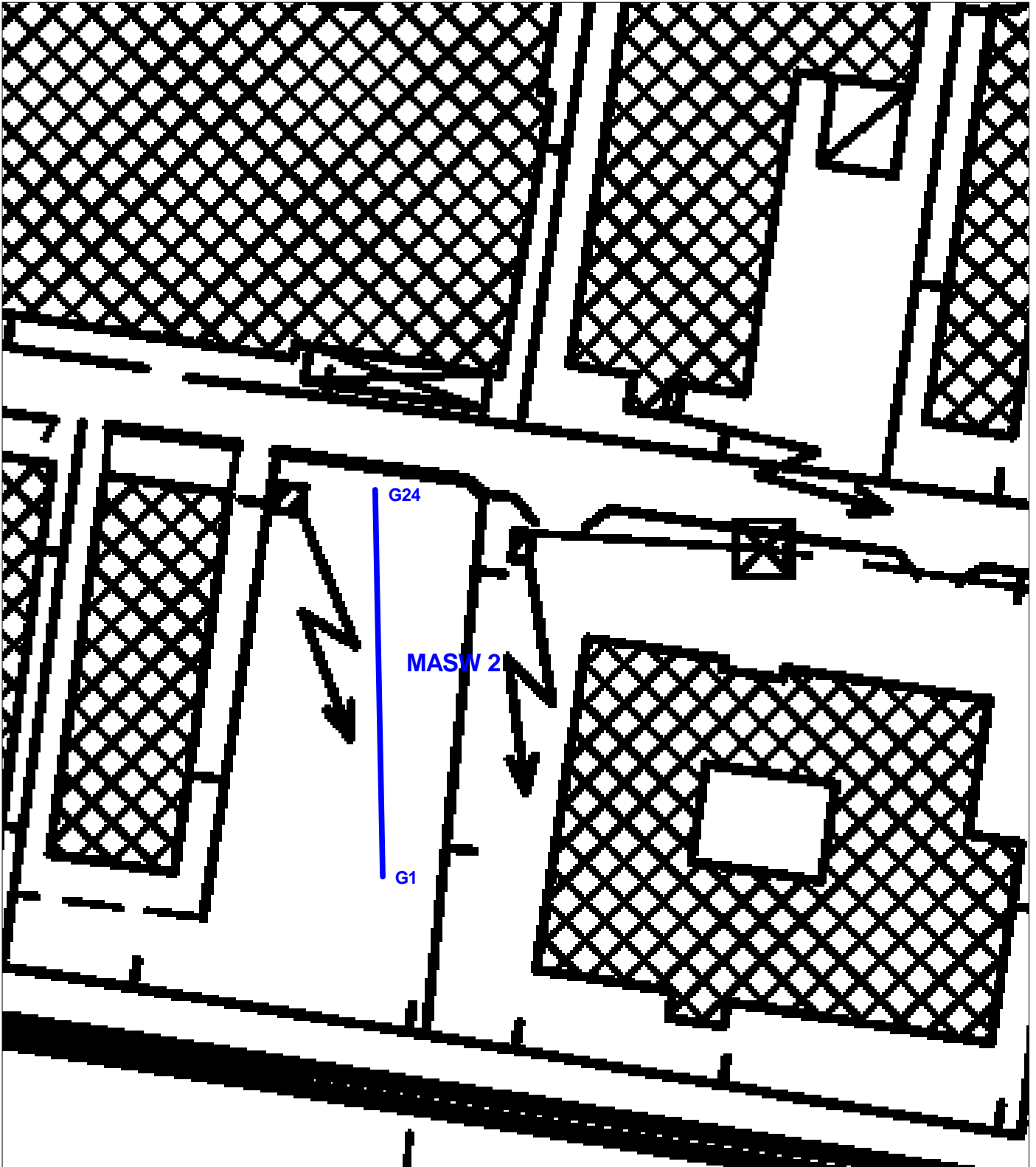
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



— Linea sismica MASW



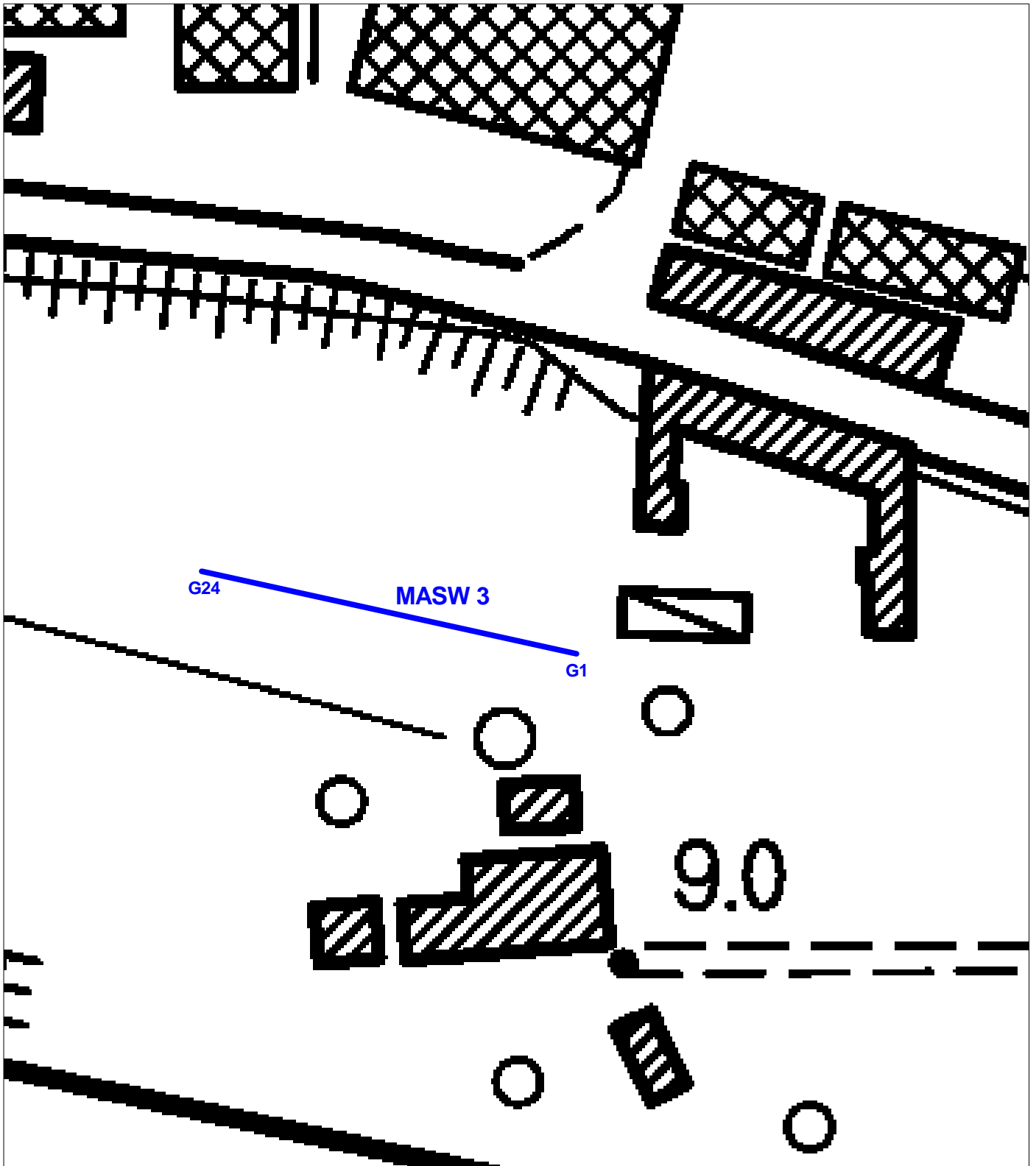
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



— Linea sismica MASW



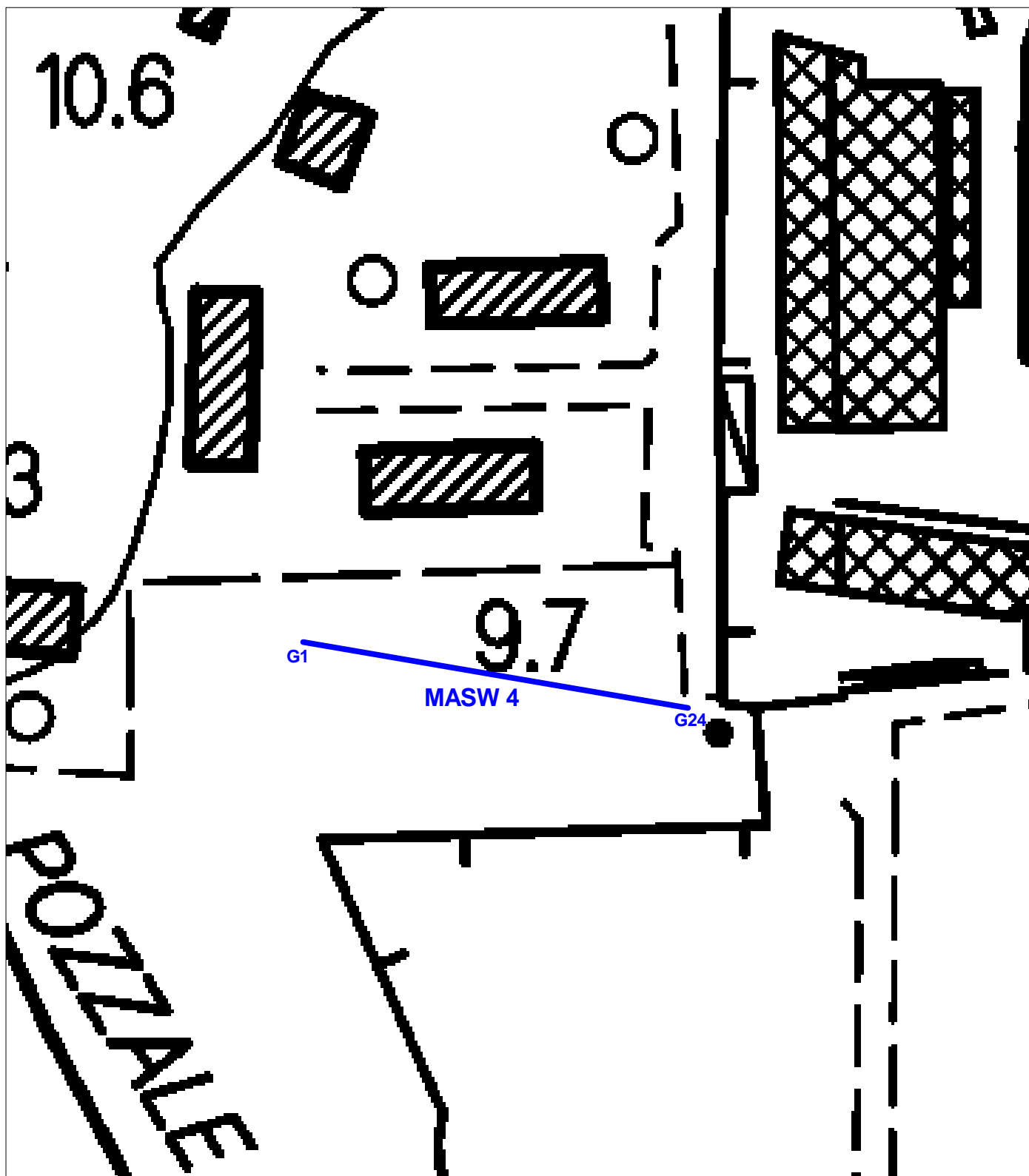
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



— Linea sismica MASW





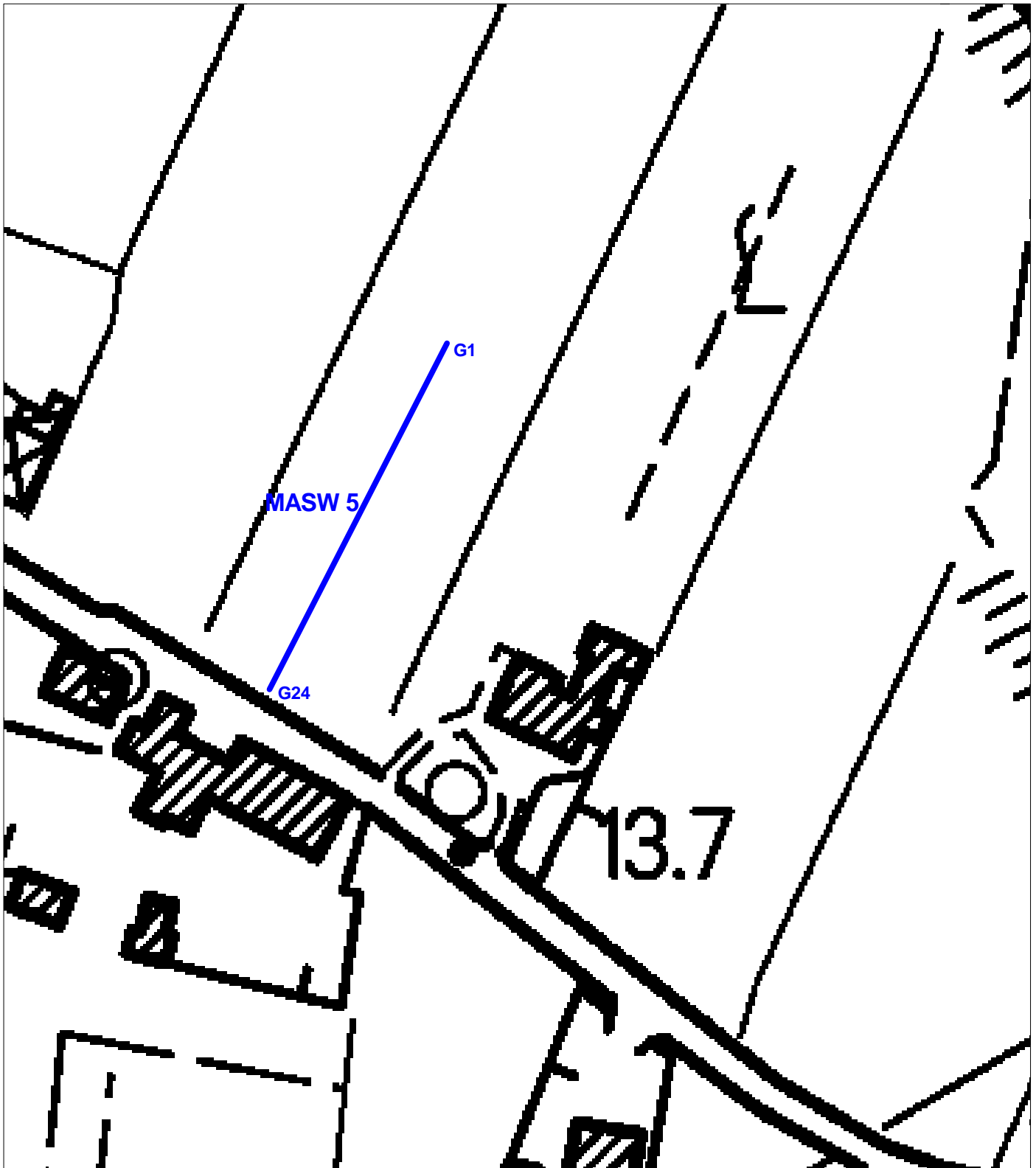
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



— Linea sismica MASW



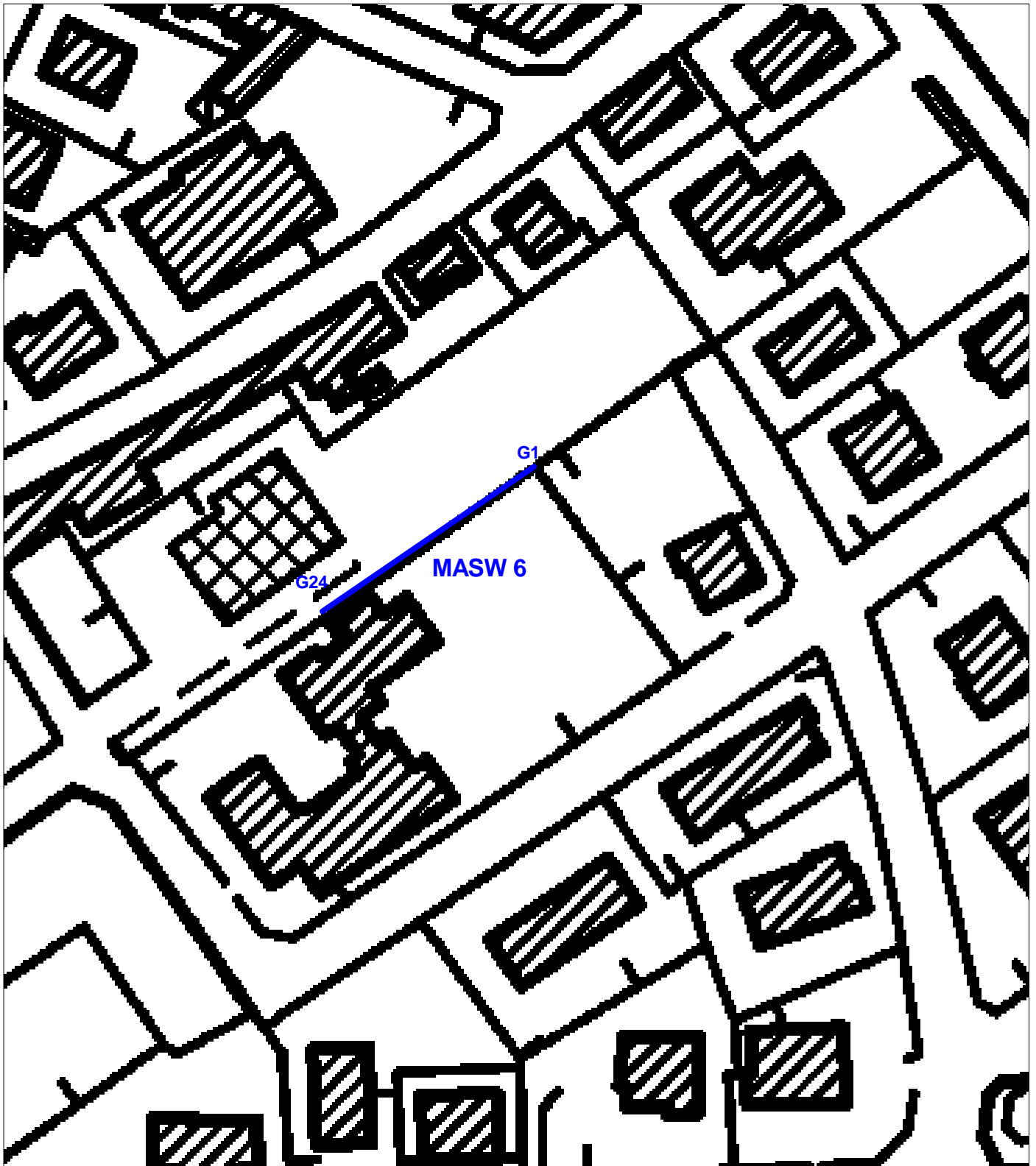
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



— Linea sismica MASW




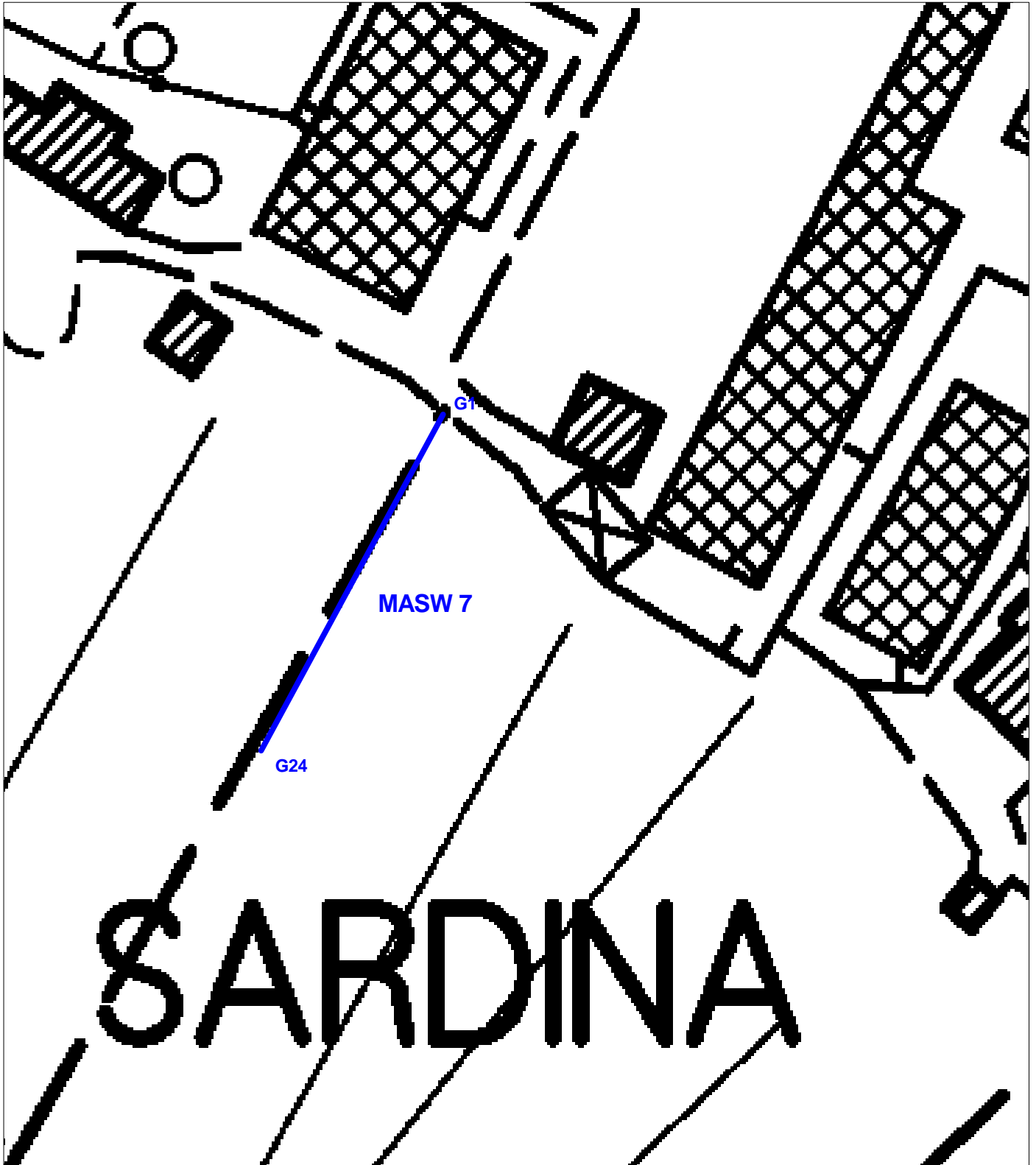
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



 Linea sismica MASW




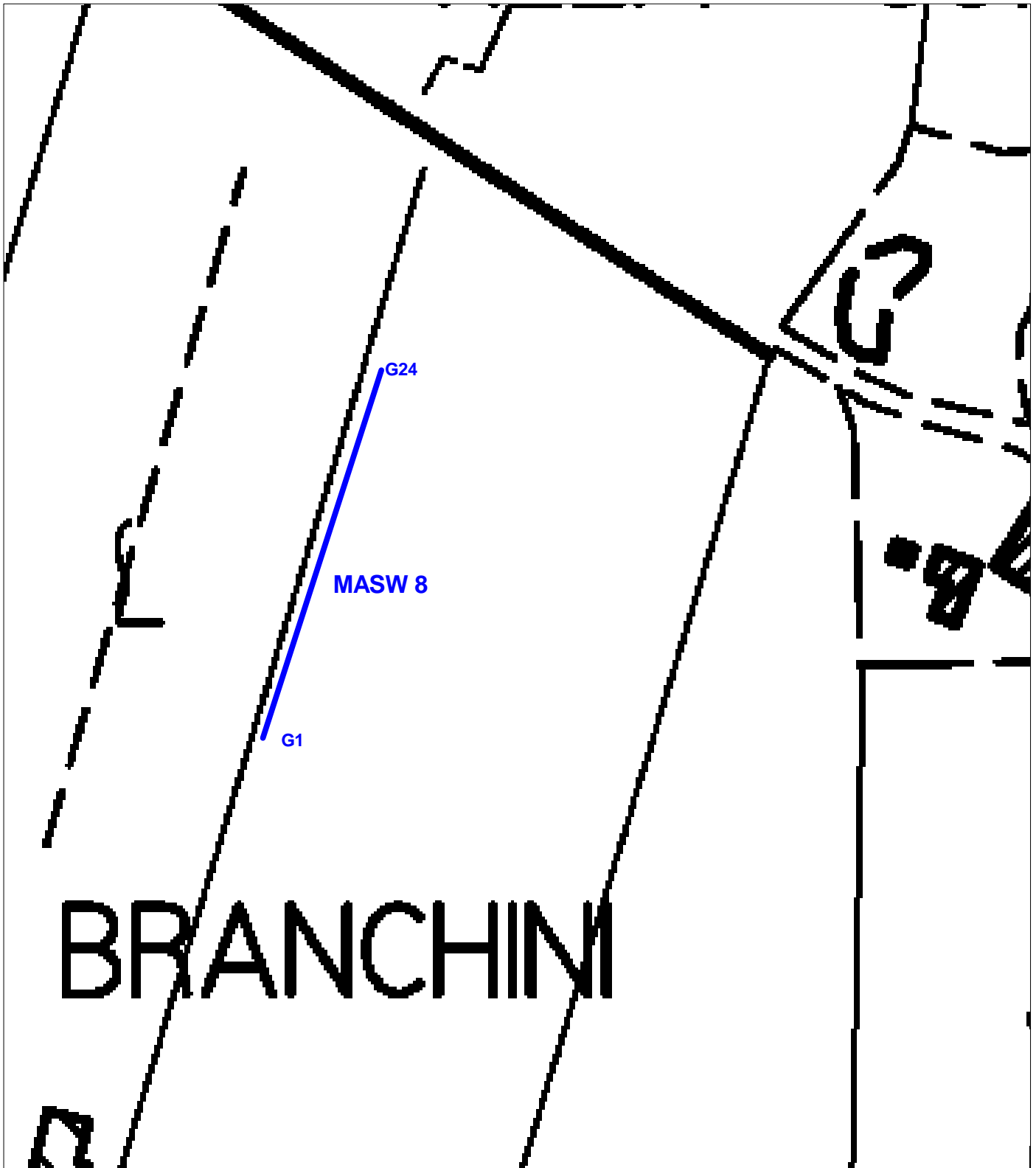
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



 Linea sismica MASW



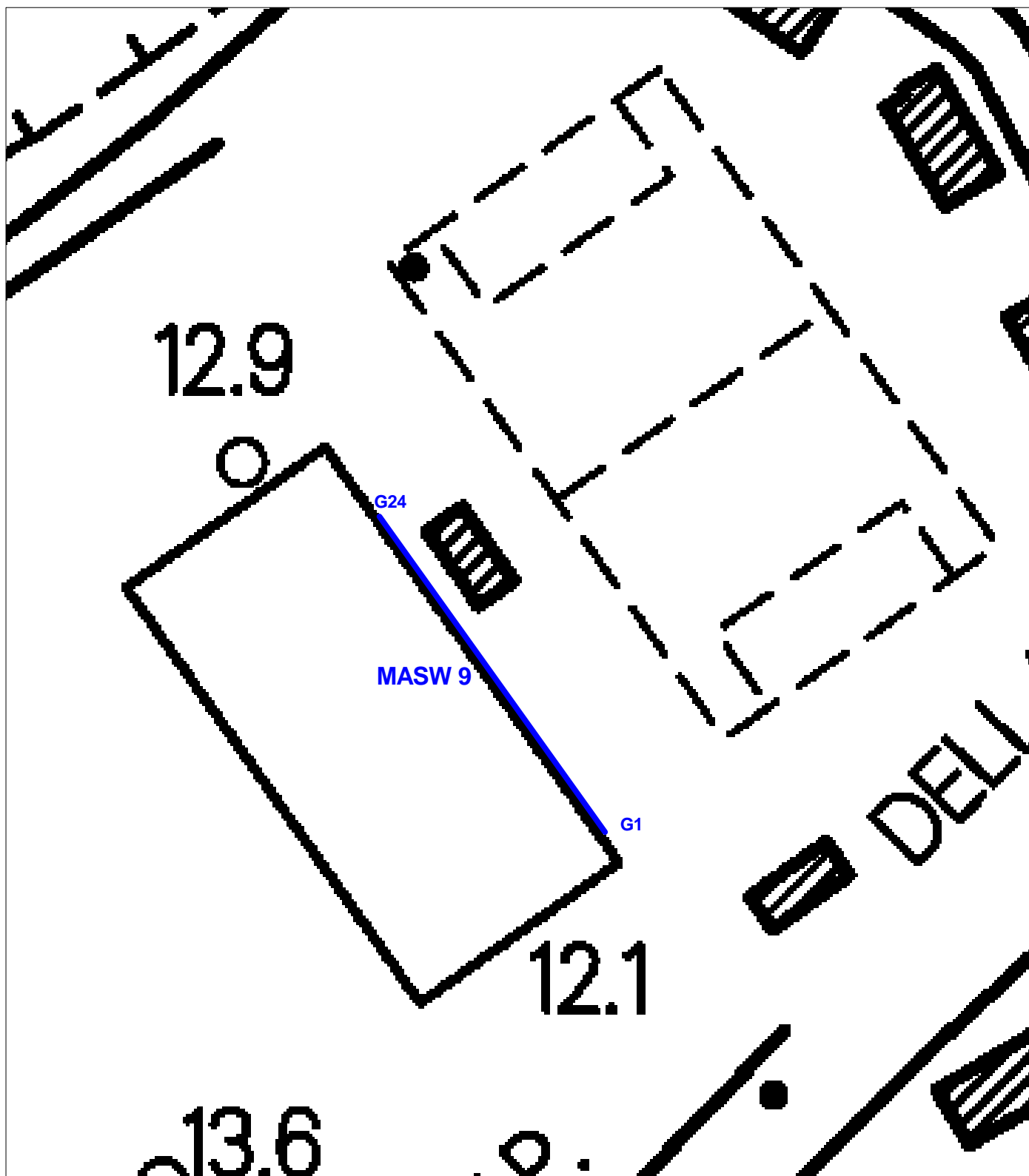
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

PROSPEZIONI SISMICHE MASW

PLANIMETRIA Scala 1:1000



— Linea sismica MASW





Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. IT12/0149  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



**PROVINCIA DI PISA  
COMUNE DI CALCINAIA**

**INDAGINI GEOFISICHE**

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1**

**ALLEGATO 2**

**PLANIMETRIE**

**HVSR**

---

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508

AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA  
INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR

PLANIMETRIA Scala 1:10000



● Stazione HVSR



AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA  
INDAGINI DI SISMICA PASSIVA HVSR



● Stazione HVSR

PLANIMETRIA Scala 1:10000







Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. IT12/0149  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



**PROVINCIA DI PISA  
COMUNE DI CALCINAIA**

**INDAGINI GEOFISICHE**

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1**

**ALLEGATO 3**

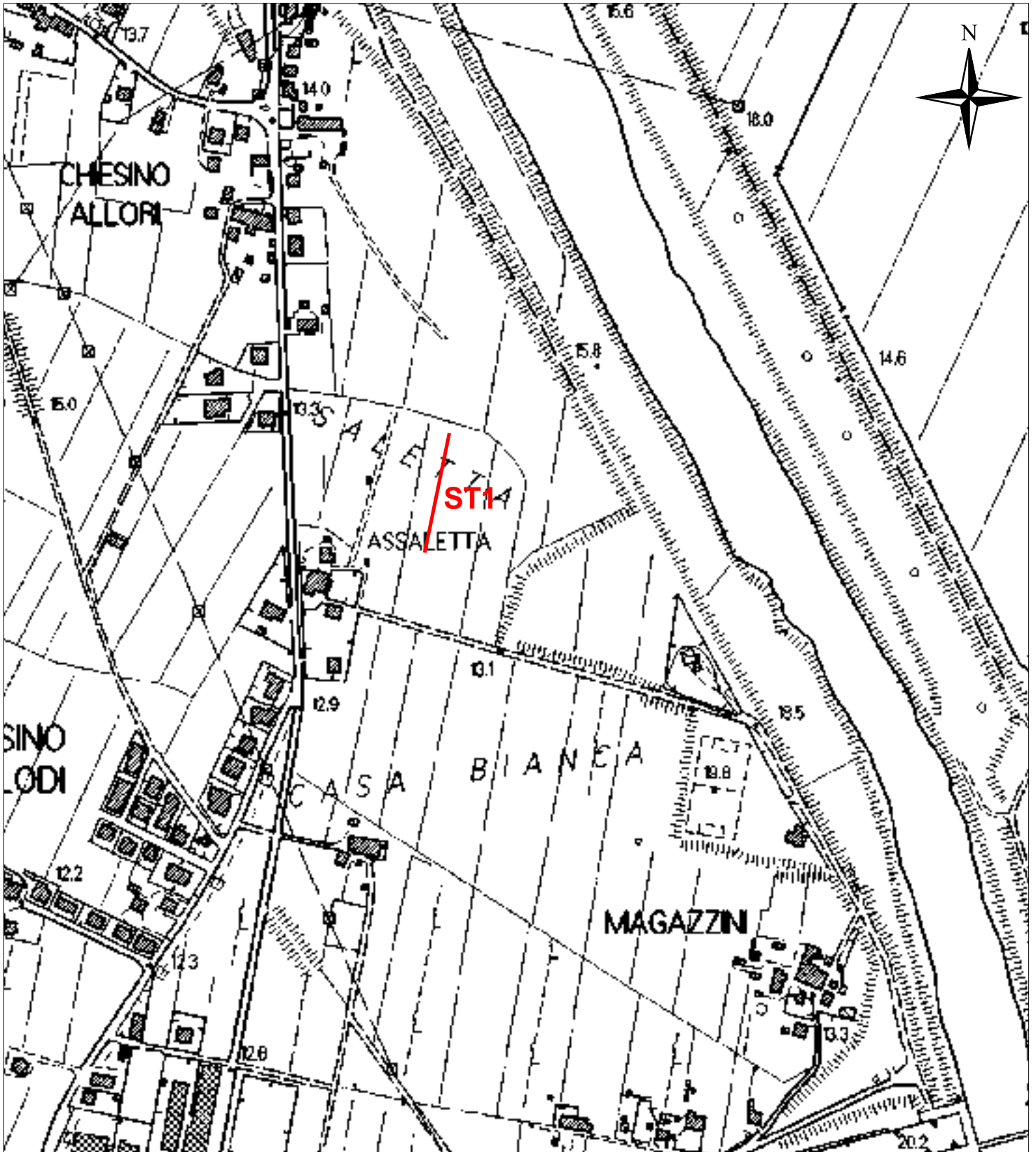
**PLANIMETRIE  
SISMICA A RIFRAZIONE**

---

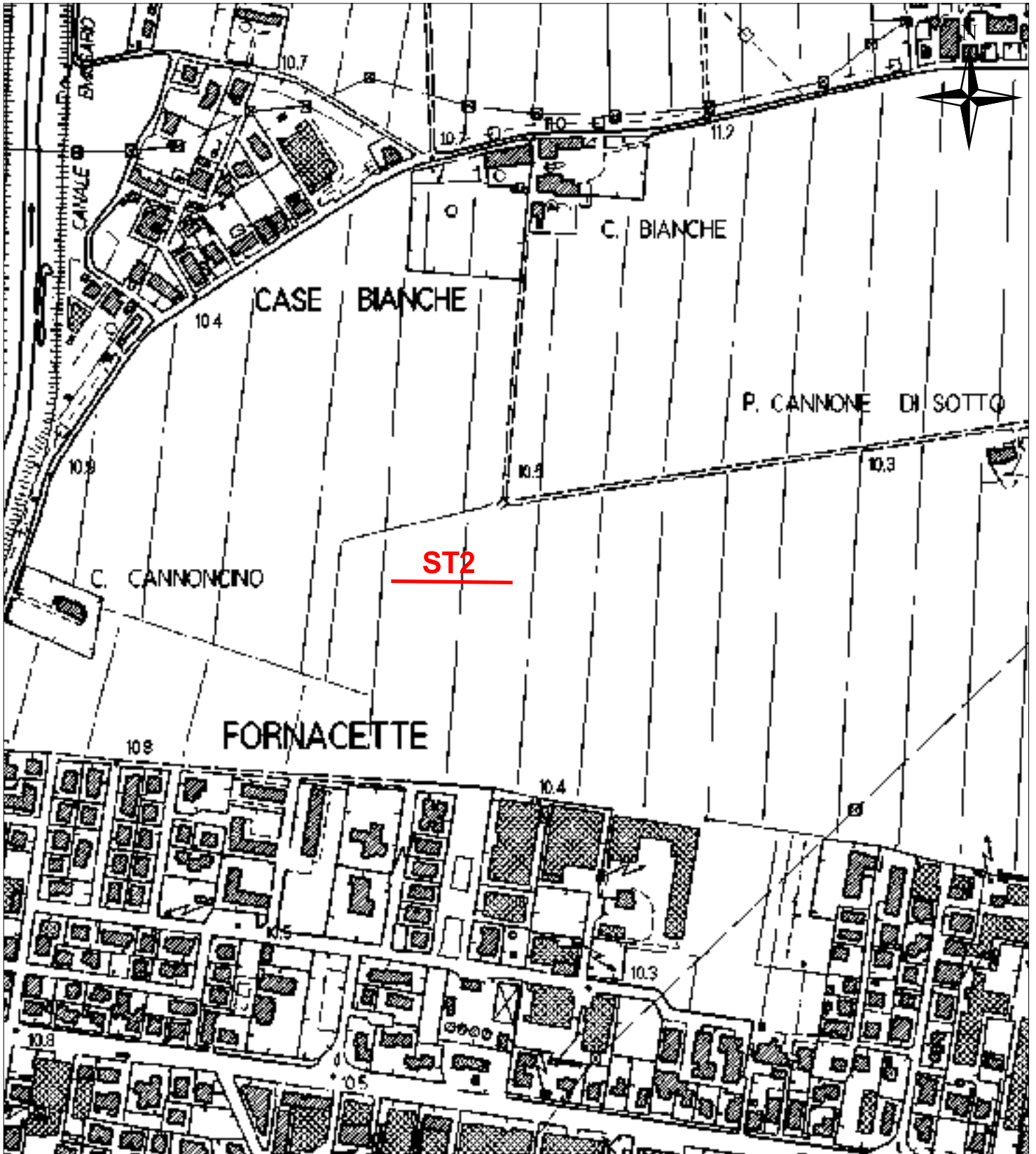
**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)  
Tel./Fax: 050 9910582 e-mail:info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508

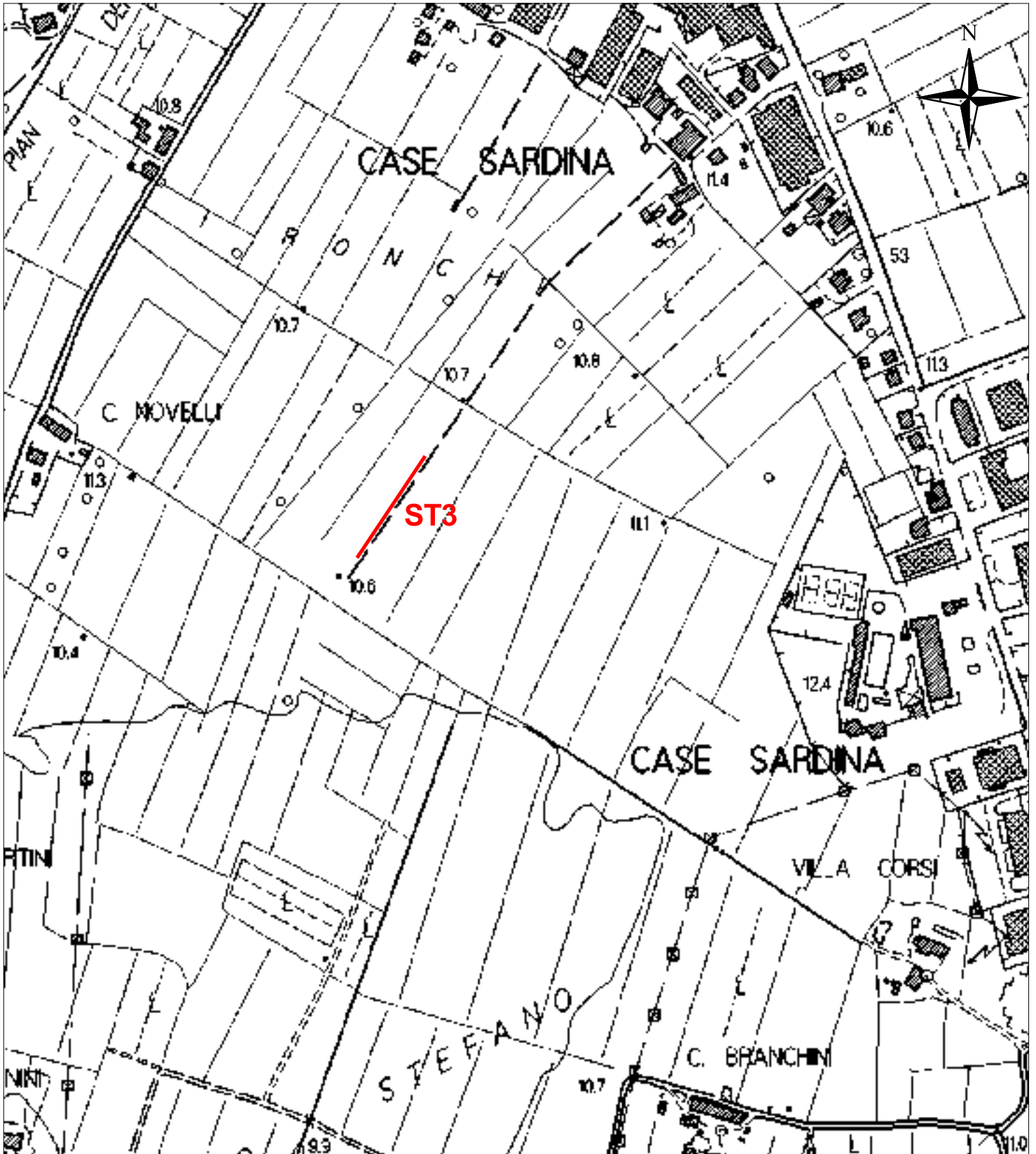
— Linea sismica a rifrazione



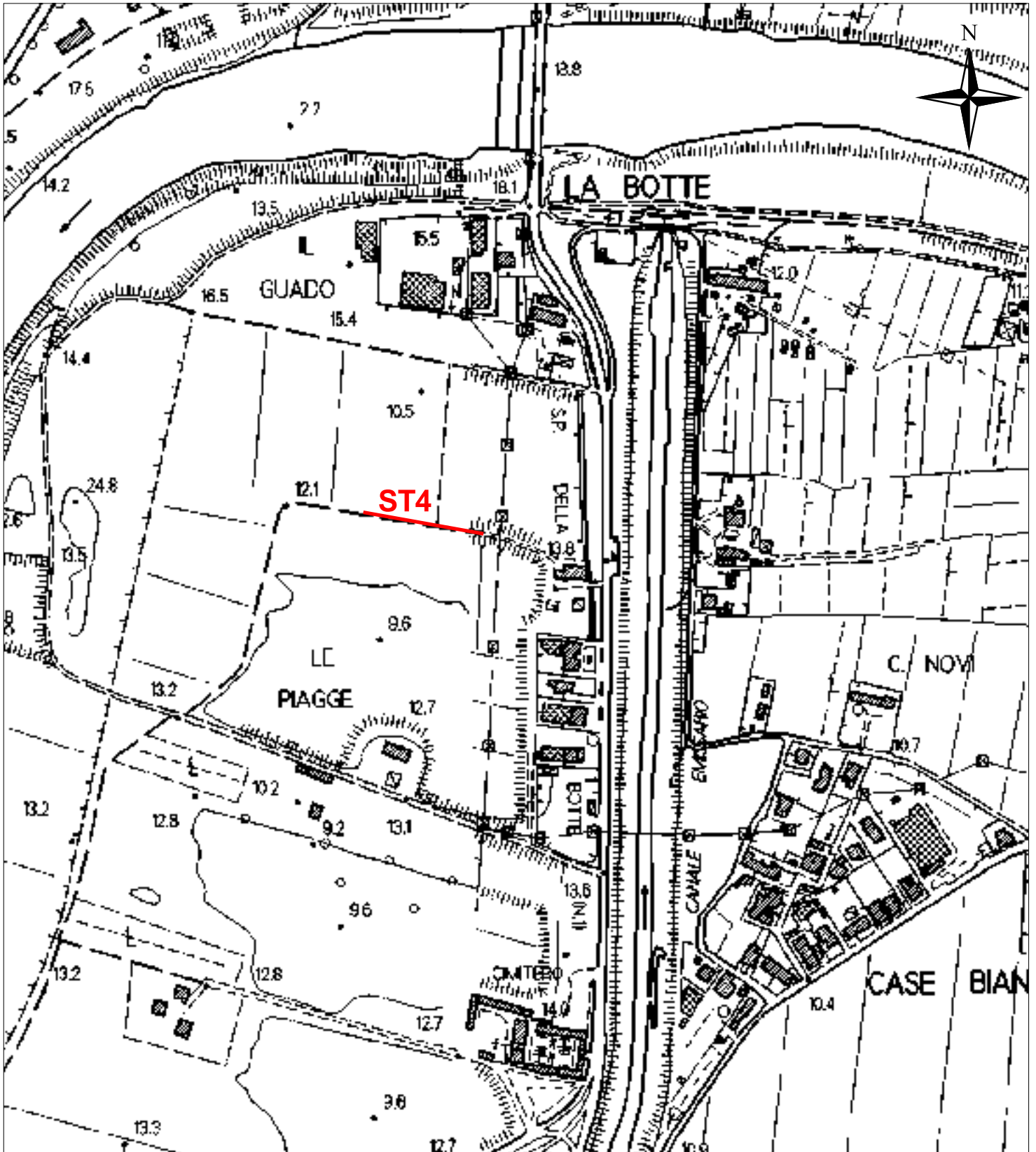
— Linea sismica a rifrazione



— Linea sismica a rifrazione



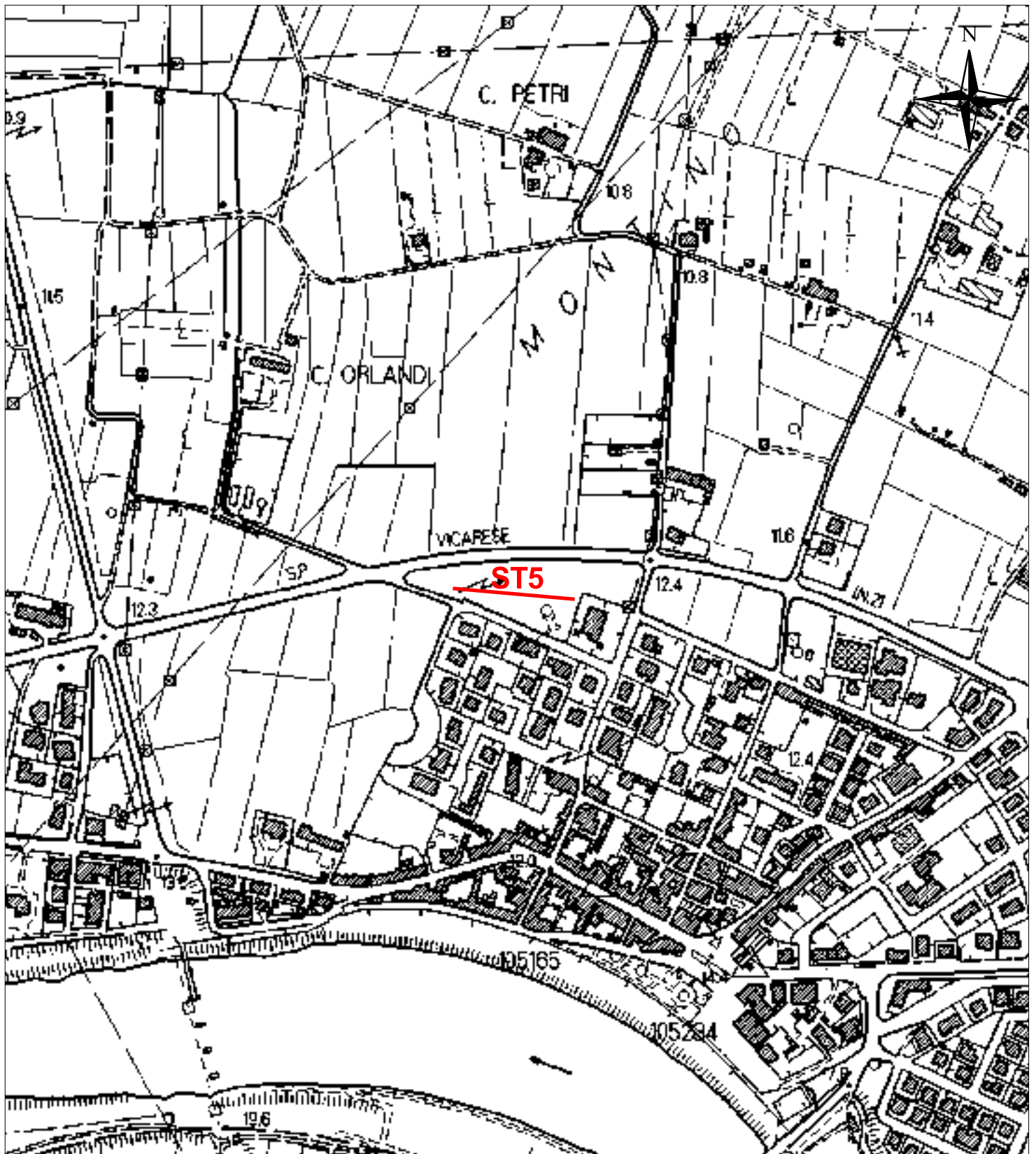
— Linea sismica a rifrazione



**AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA  
PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH**

**PLANIMETRIA Scala 1:5000**




 Linea sismica a rifrazione



# PLANIMETRIA IN SCALA 1:1000

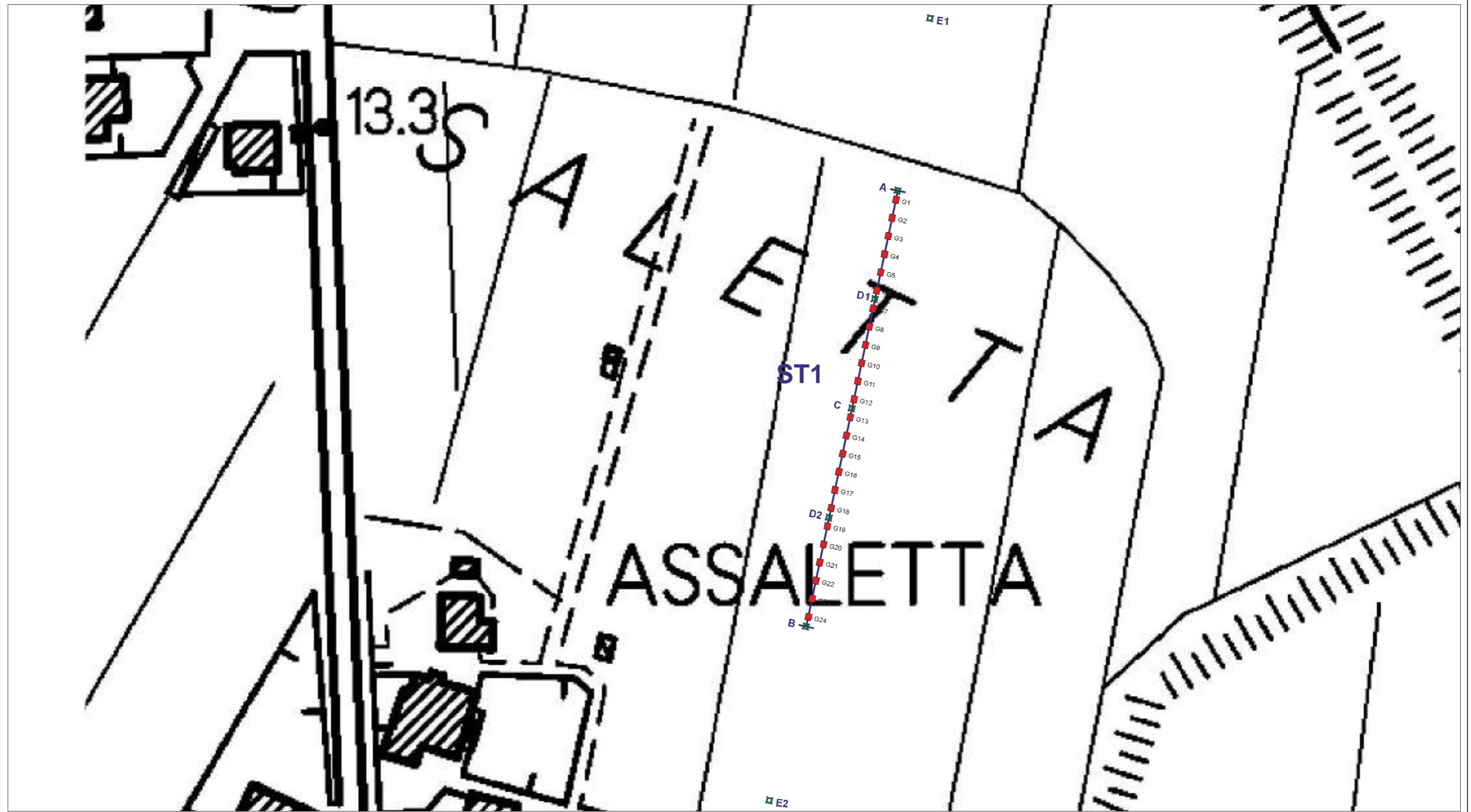


## LEGENDA

-  Linea sismica
-  Posizione Geofono
-  Posizione Tiro

**AMMINISTRAZIONE COMUNALE  
DI CALCINAIA**




**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN  
ONDE P ED SH**



# PLANIMETRIA IN SCALA 1:1000

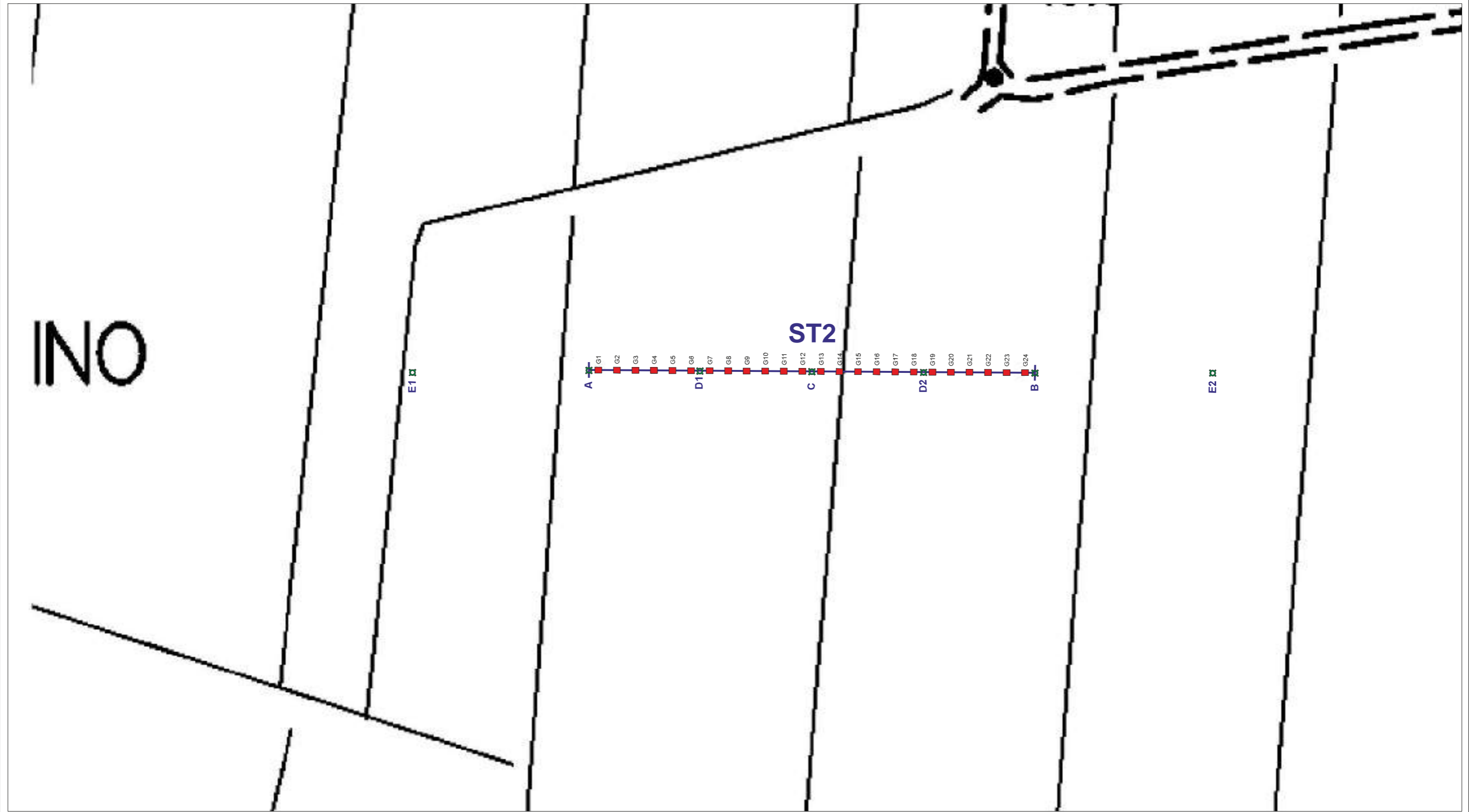


## LEGENDA

-  Linea sismica
-  Posizione Geofono
-  Posizione Tiro

**AMMINISTRAZIONE COMUNALE  
DI CALCINAIA**

**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN  
ONDE P ED SH**








# PLANIMETRIA IN SCALA 1:1000

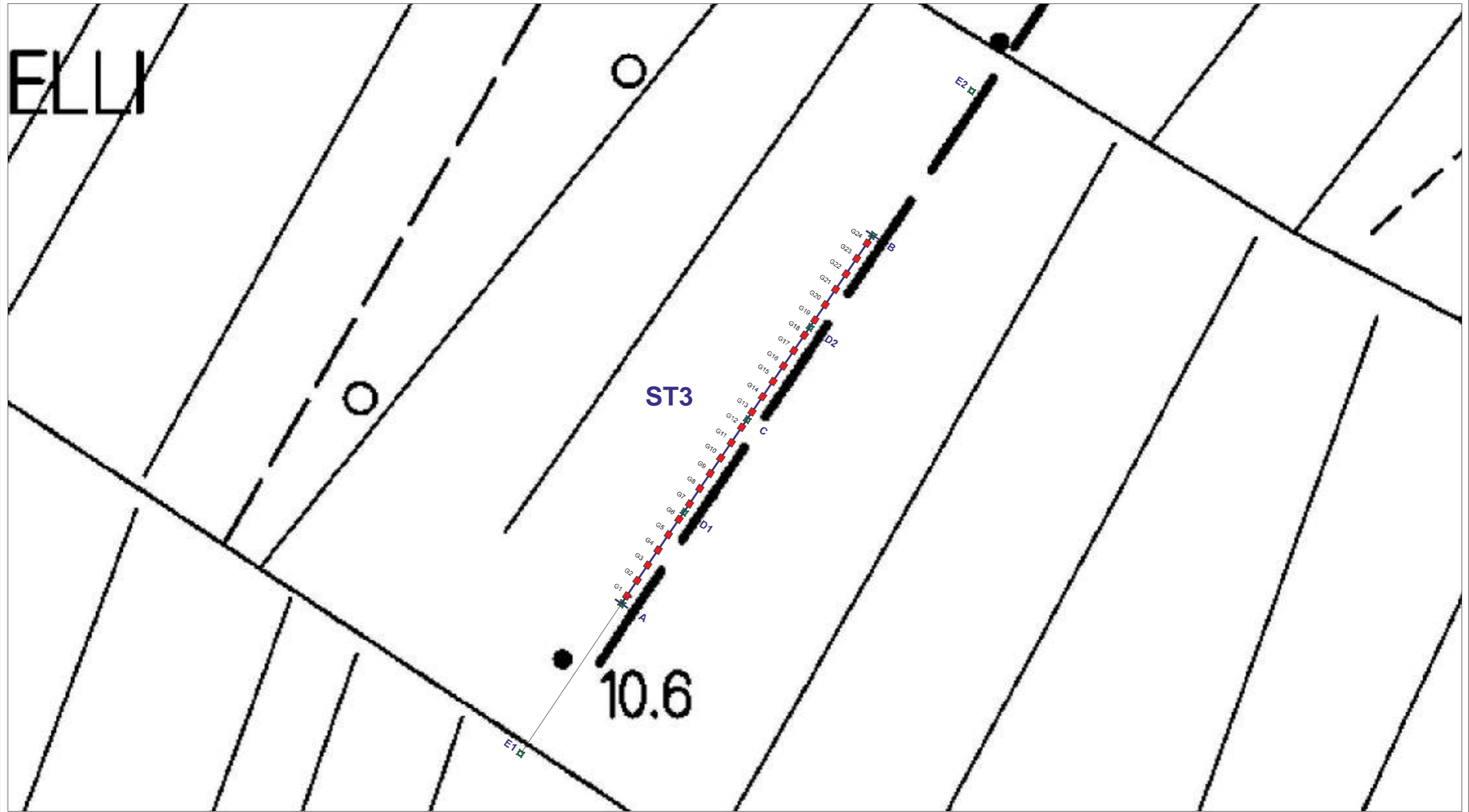


## LEGENDA

-  Linea sismica
-  Posizione Geofono
-  Posizione Tiro

**AMMINISTRAZIONE COMUNALE  
DI CALCINAIA**

**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN  
ONDE P ED SH**






# PLANIMETRIA IN SCALA 1:1000

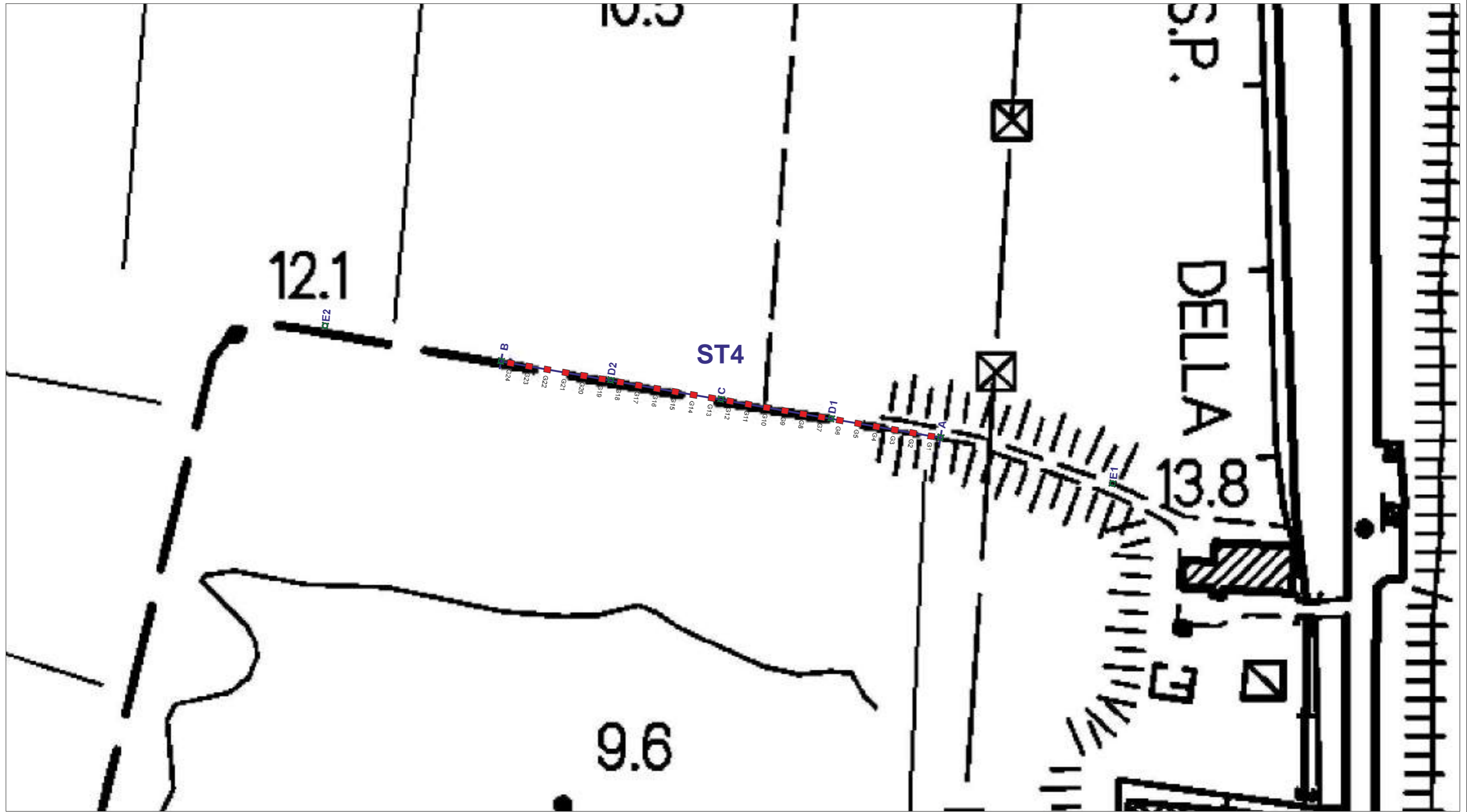


**AMMINISTRAZIONE COMUNALE  
DI CALCINAIA**

**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN  
ONDE P ED SH**

## LEGENDA

-  Linea sismica
-  Posizione Geofono
-  Posizione Tiro






# PLANIMETRIA IN SCALA 1:1000

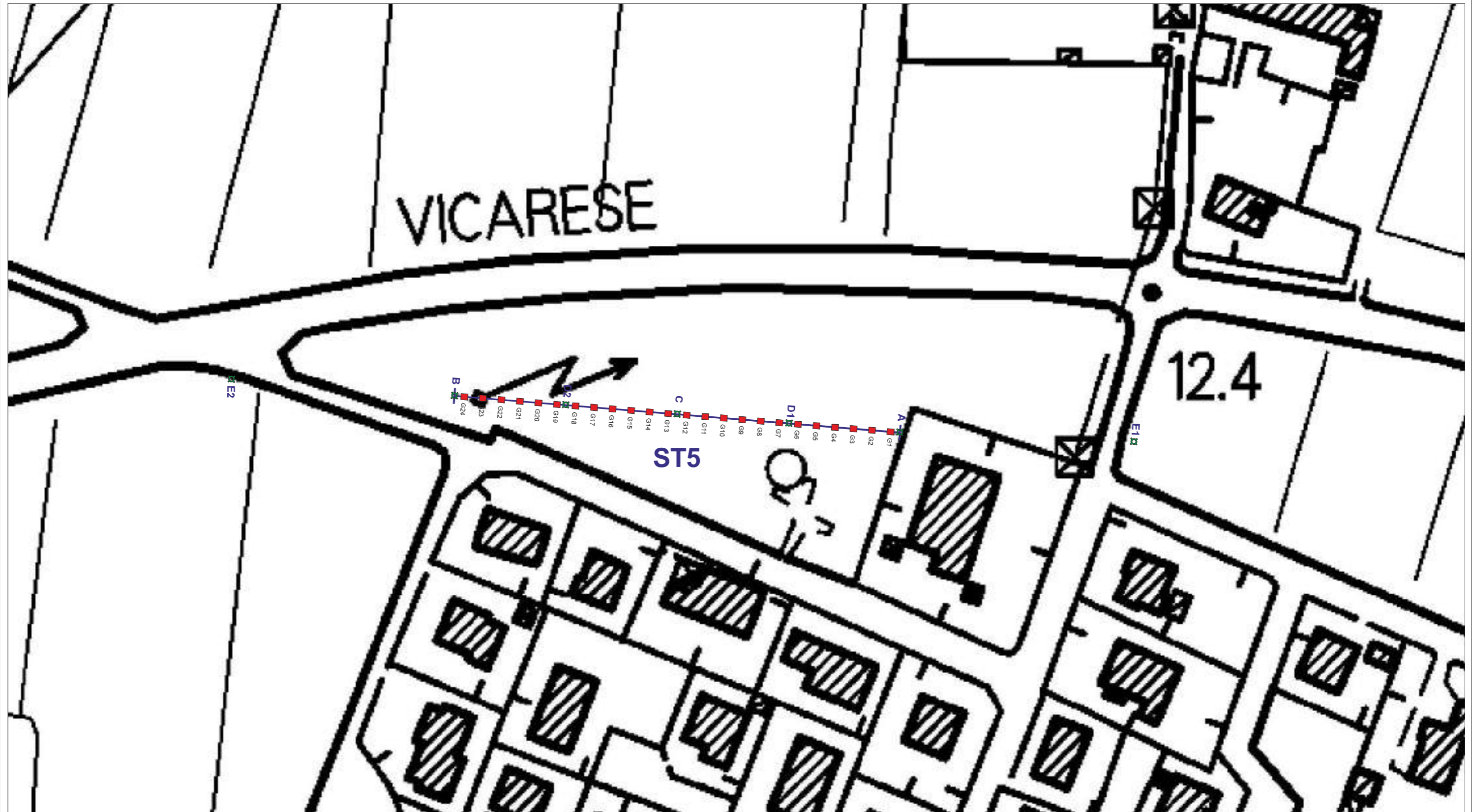


**AMMINISTRAZIONE COMUNALE  
DI CALCINAIA**

**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN  
ONDE P ED SH**

## LEGENDA

-  Linea sismica
-  Posizione Geofono
-  Posizione Tiro





Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. IT12/0149  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



**PROVINCIA DI PISA  
COMUNE DI CALCINAIA**

**INDAGINI GEOFISICHE**

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1**

**ALLEGATO 4**

**REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA  
SISMICA A RIFRAZIONE**

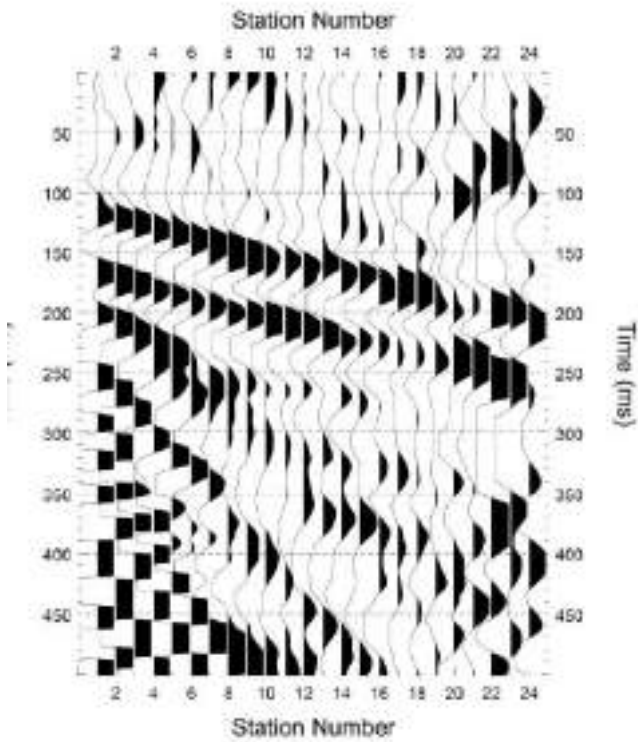
---

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)

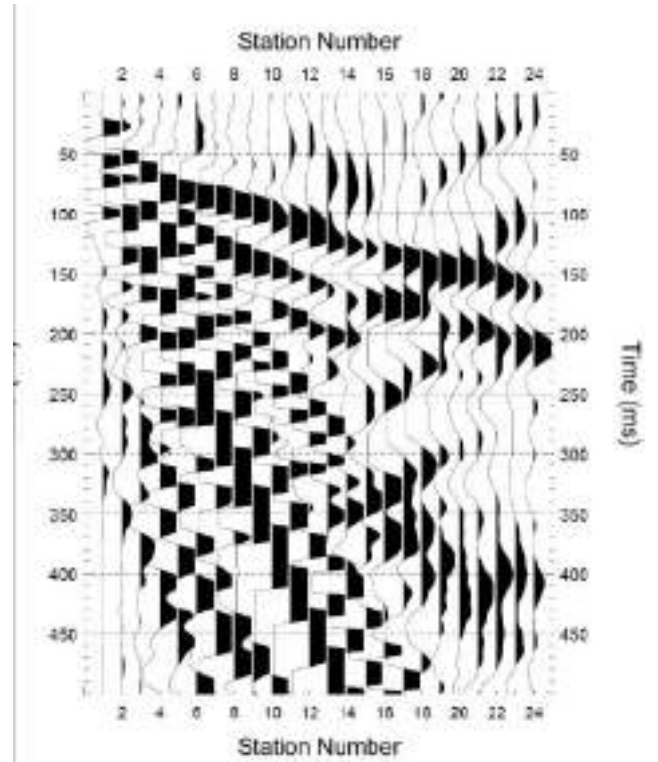
Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508

Tiro E1



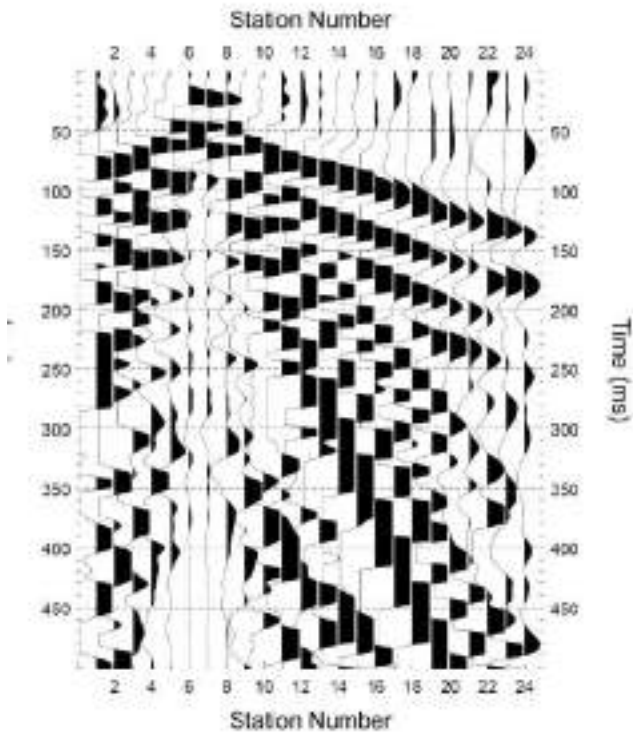
Stack 1

Tiro A



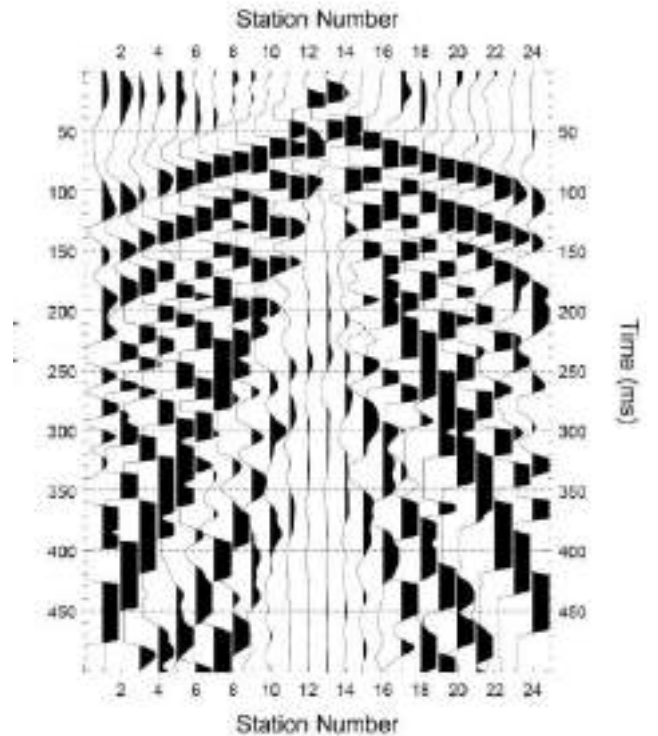
Stack 2

Tiro D1



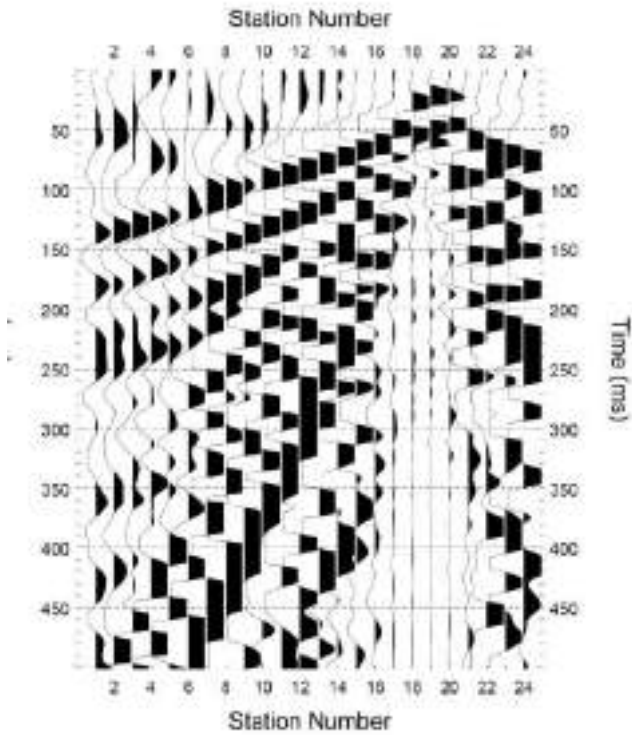
Stack 1

Tiro C



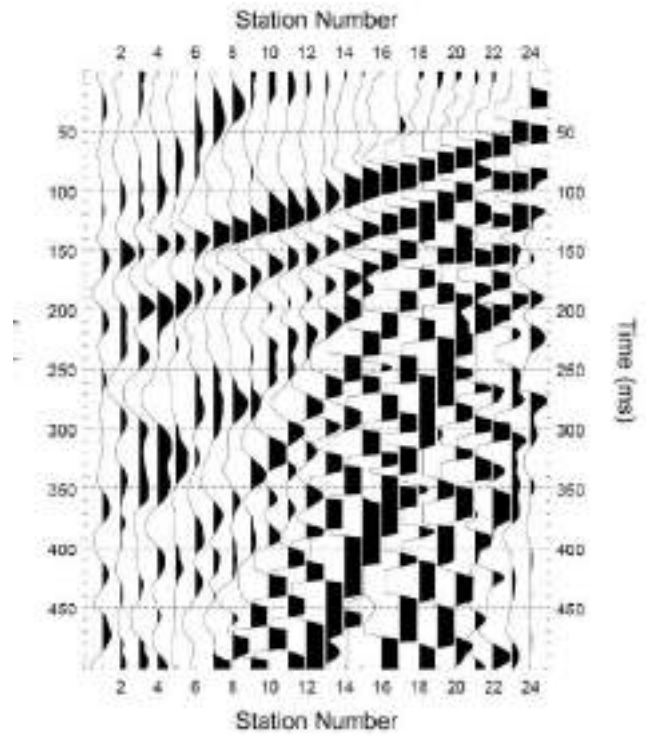
Stack 1

Tiro D2



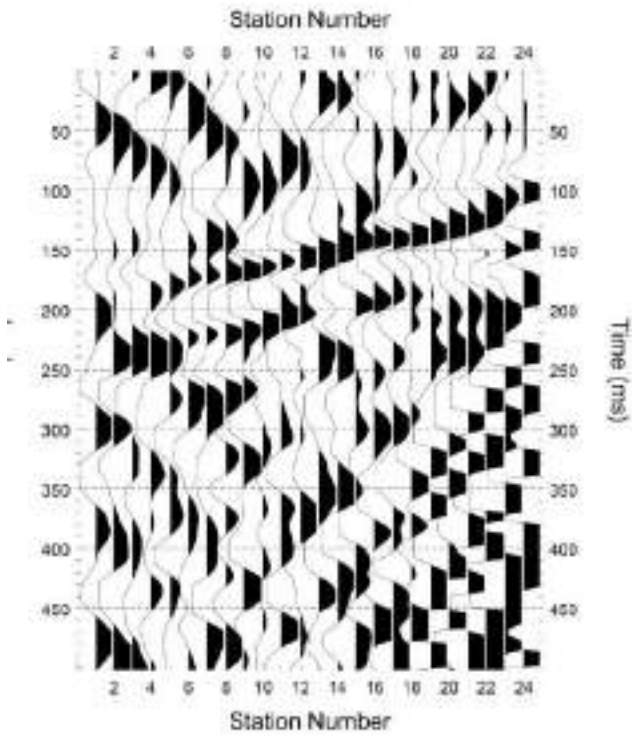
Stack 1

Tiro B



Stack 2

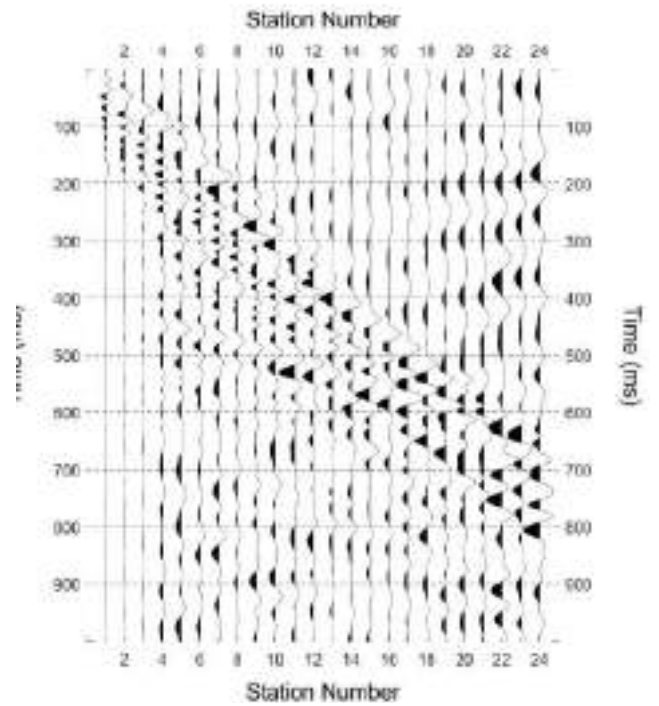
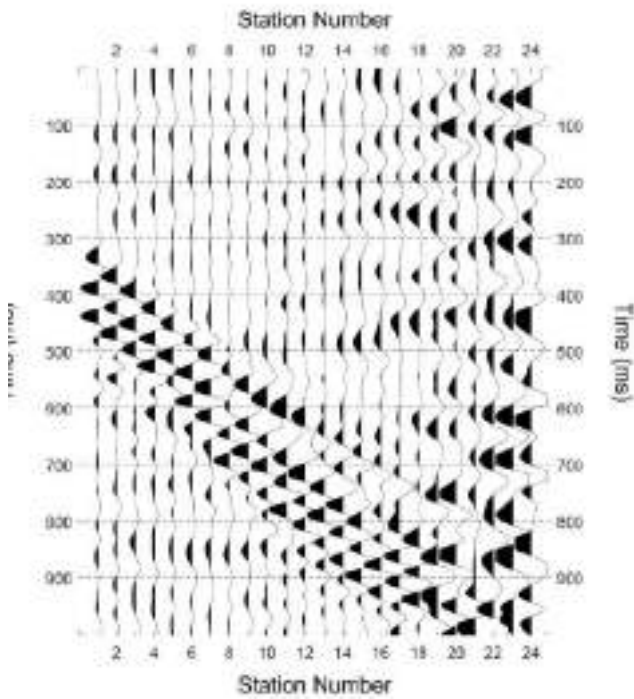
Tiro E2



Stack 3

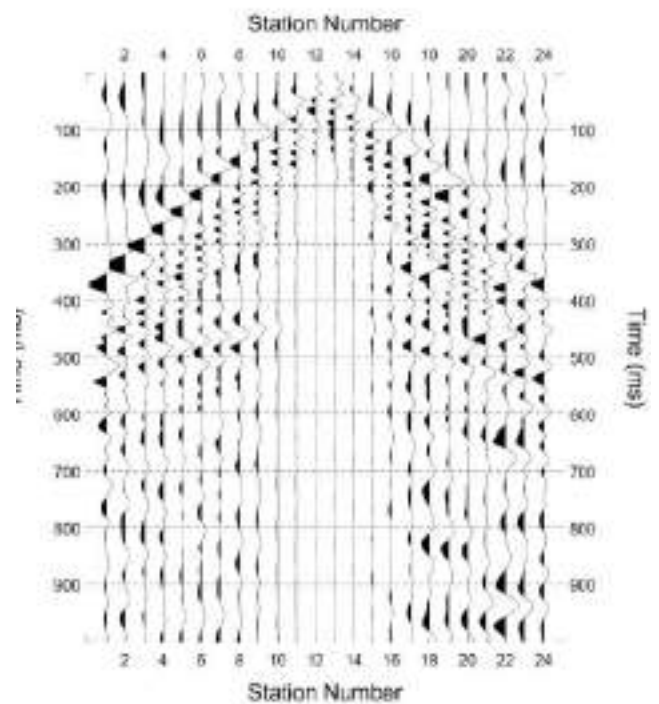
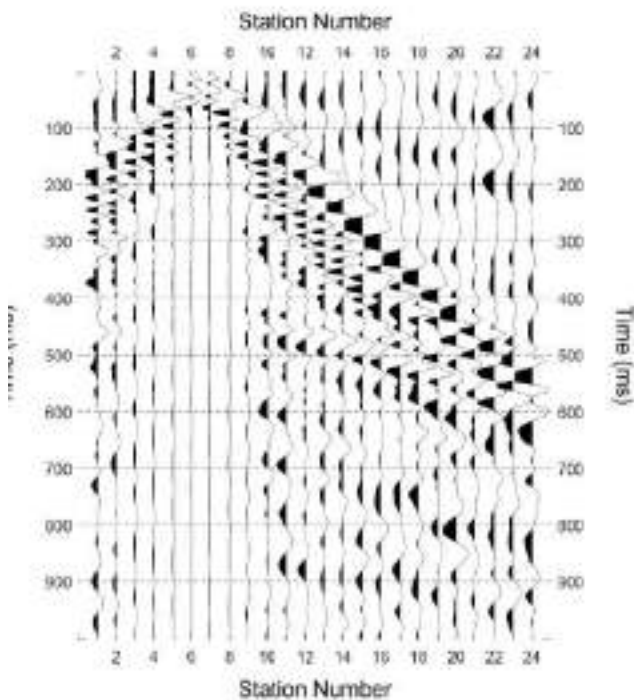
Tiro E1

Tiro A

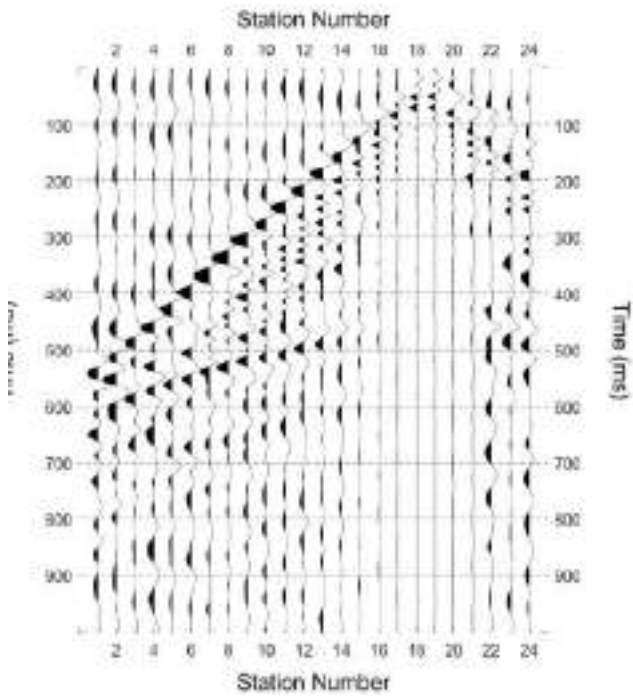


Tiro D1

Tiro C

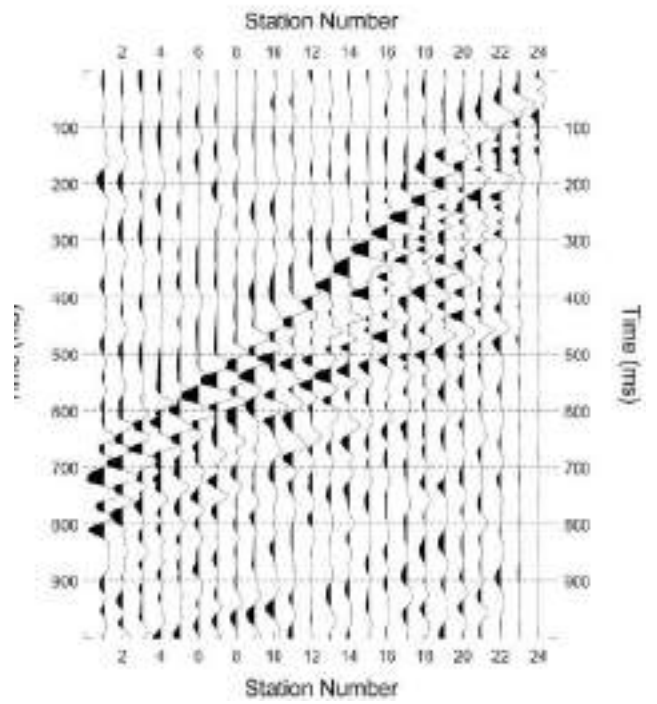


Tiro D2



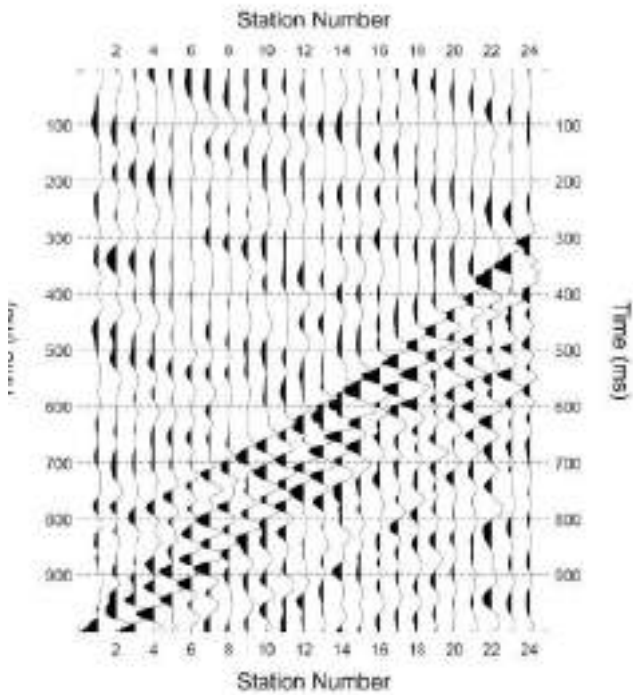
Stack 4

Tiro B



Stack 4

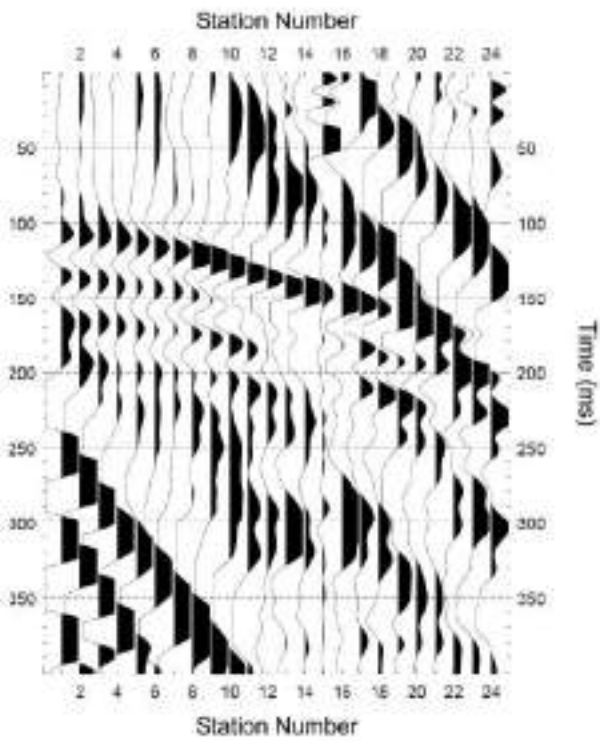
Tiro E2



Stack 6

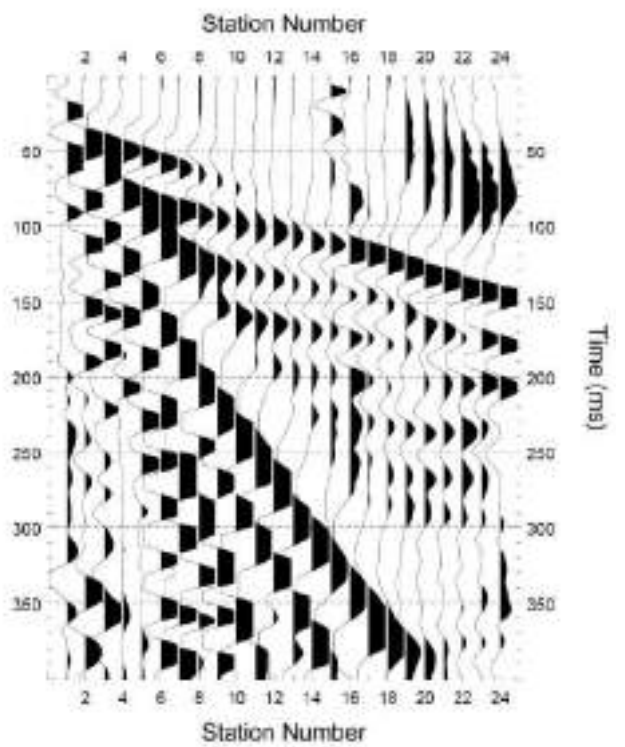


Tiro E1



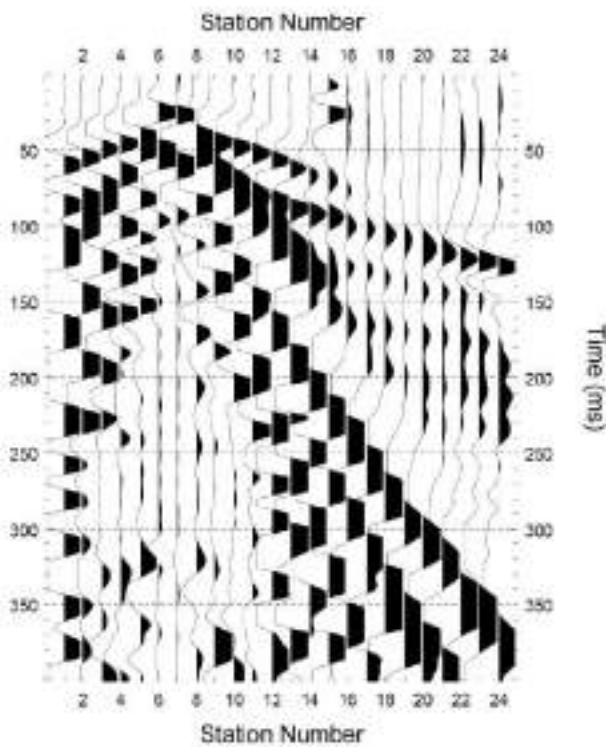
Stack 3

Tiro A



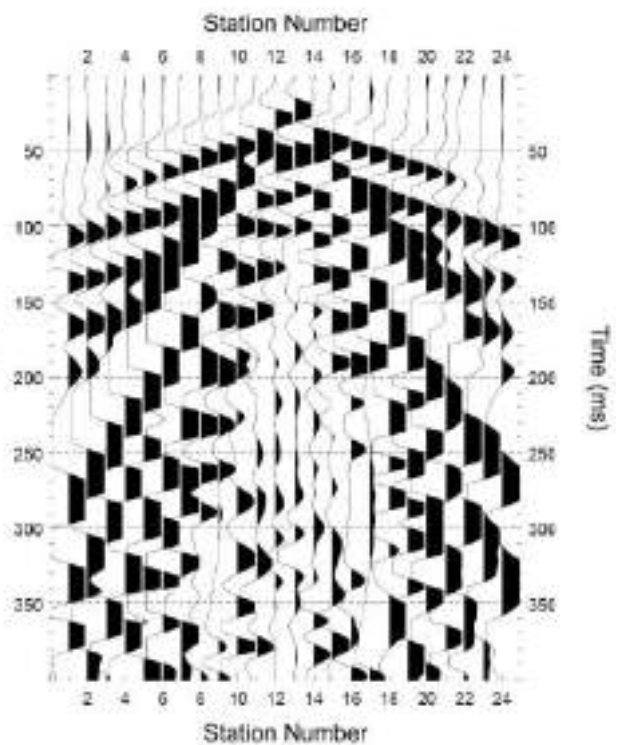
Stack 2

Tiro D1



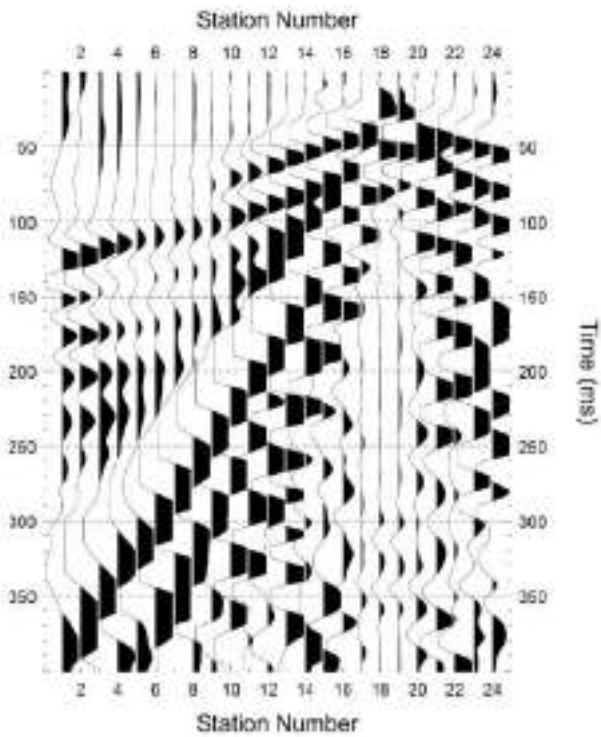
Stack 2

Tiro C



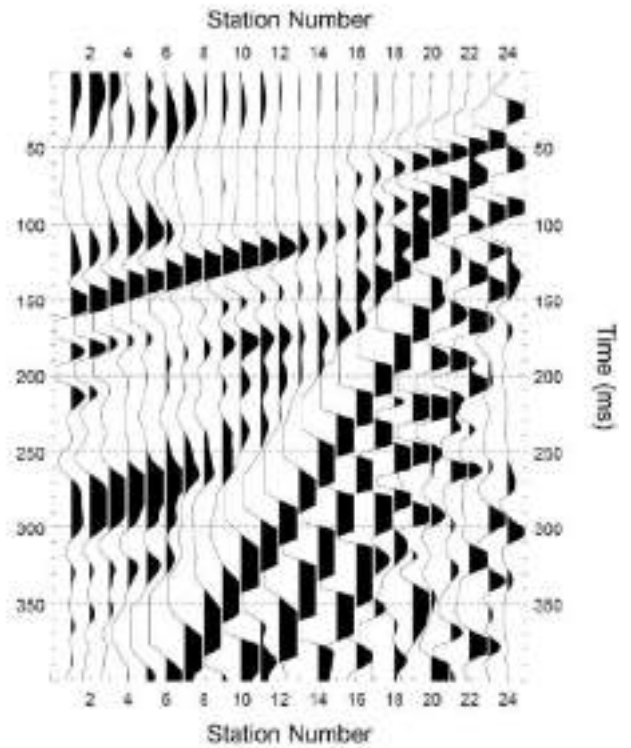
Stack 3

Tiro D2



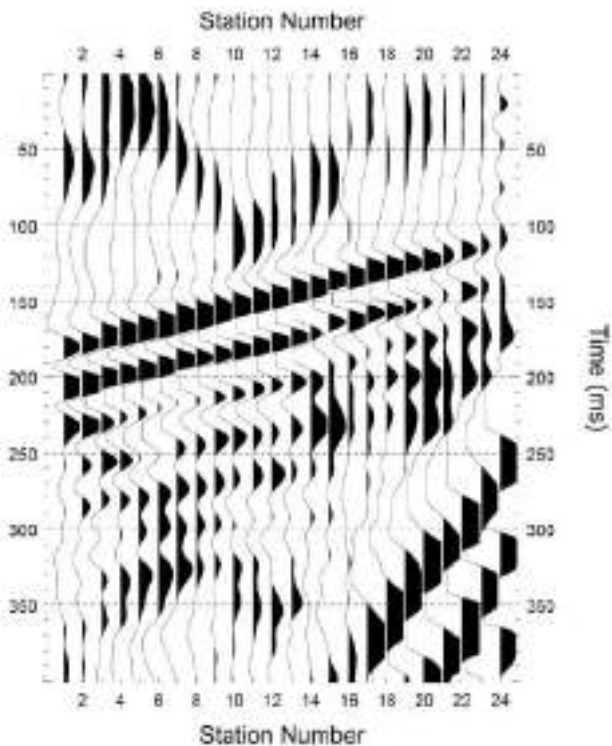
Stack 2

Tiro B



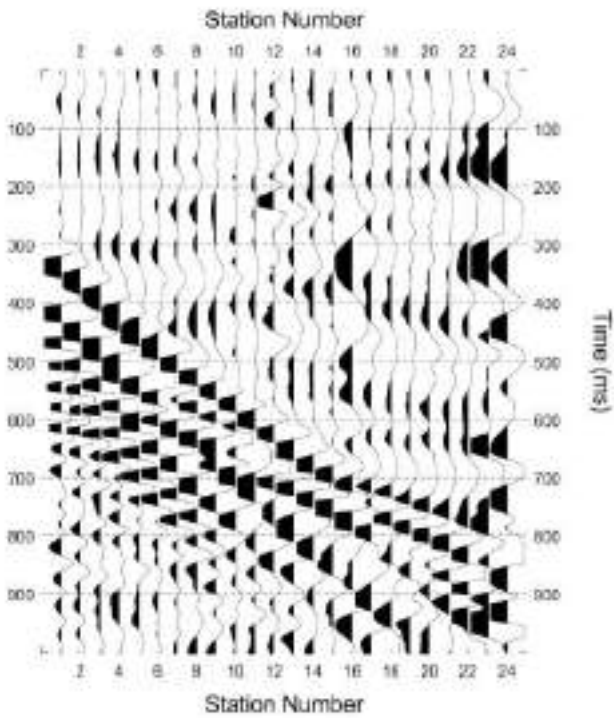
Stack 2

Tiro E2



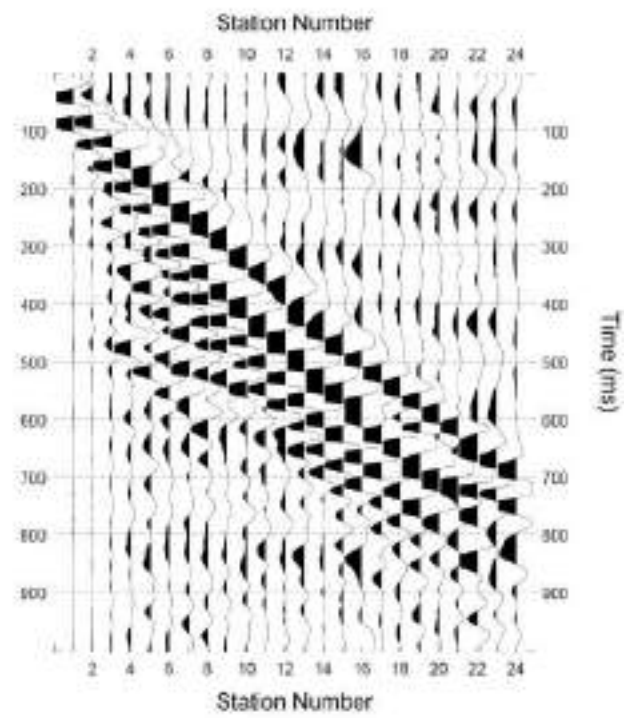
Stack 2

Tiro E1



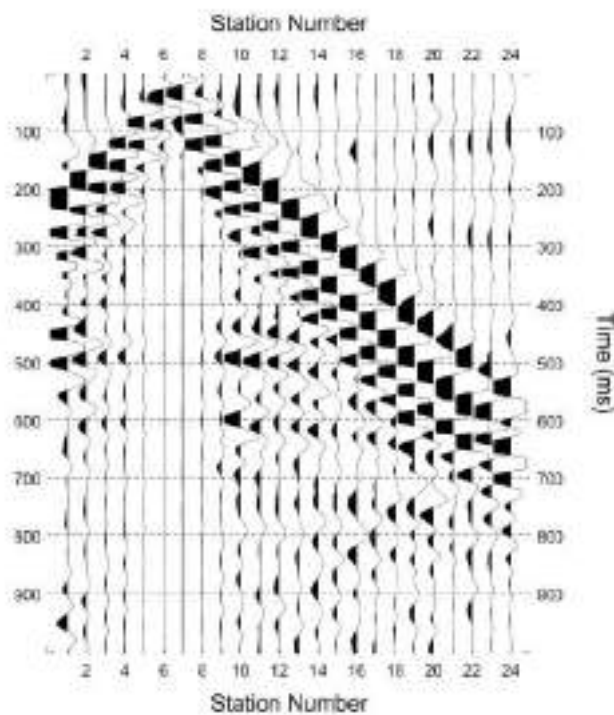
Stack 4

Tiro A



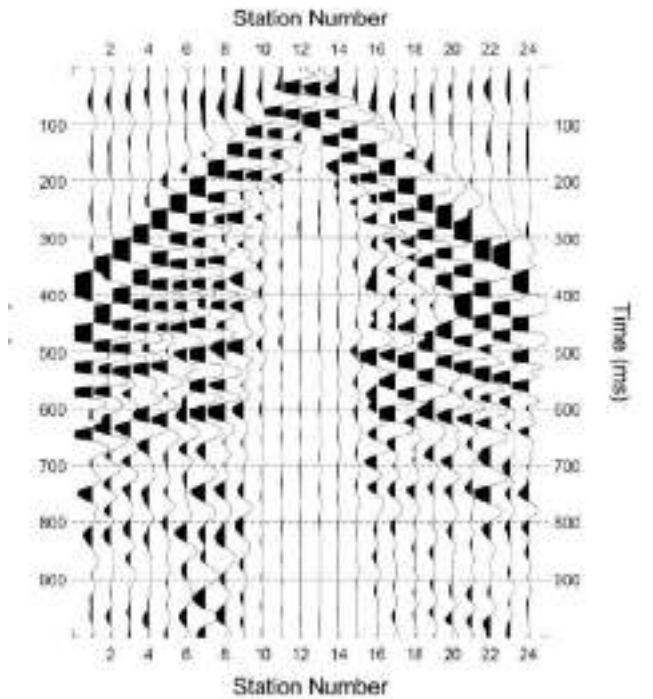
Stack 4

Tiro D1



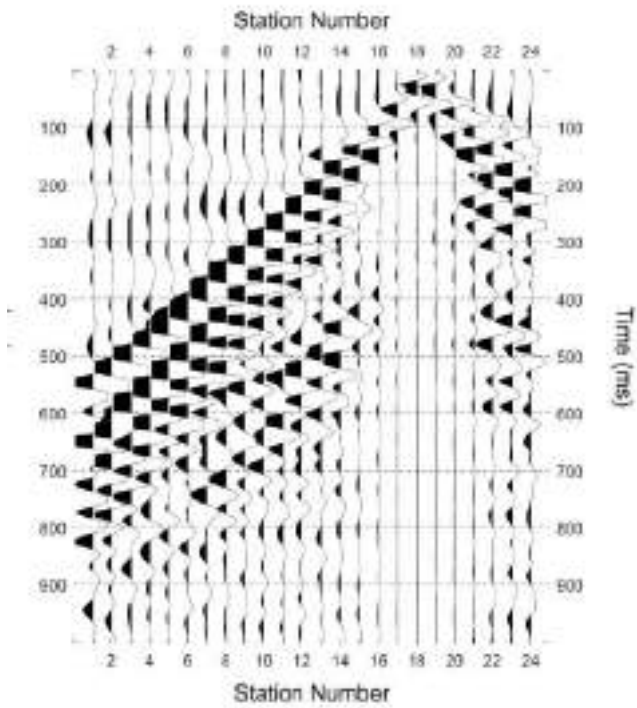
Stack 4

Tiro C



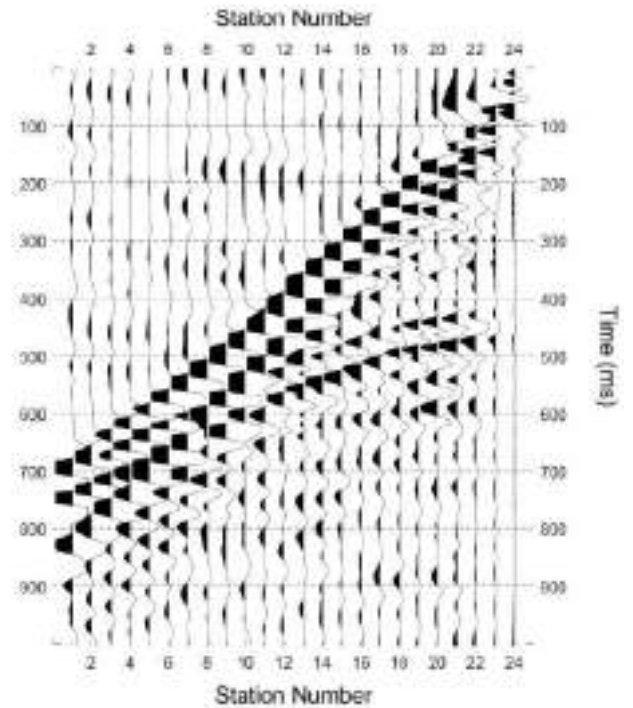
Stack 6

Tiro D2



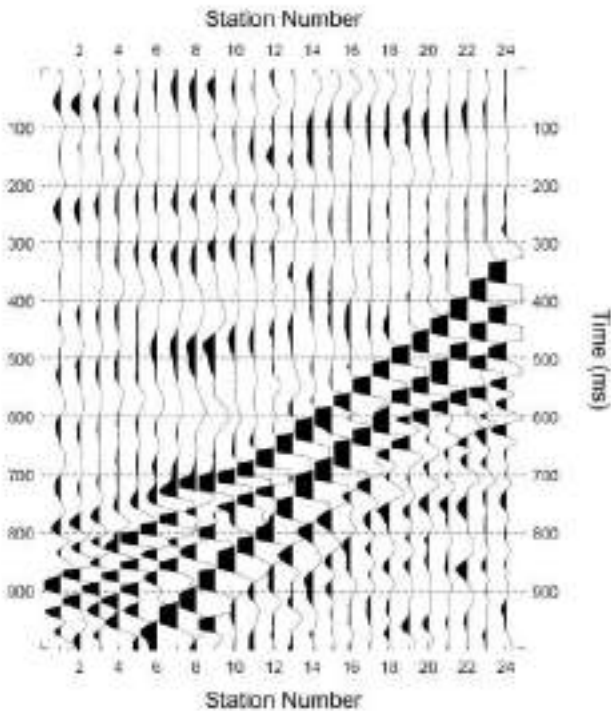
Stack 4

Tiro B



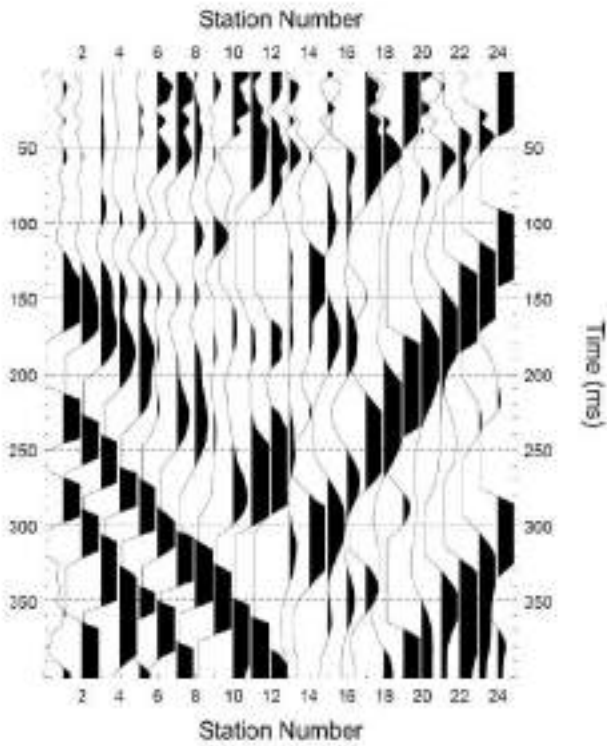
Stack 4

Tiro E2

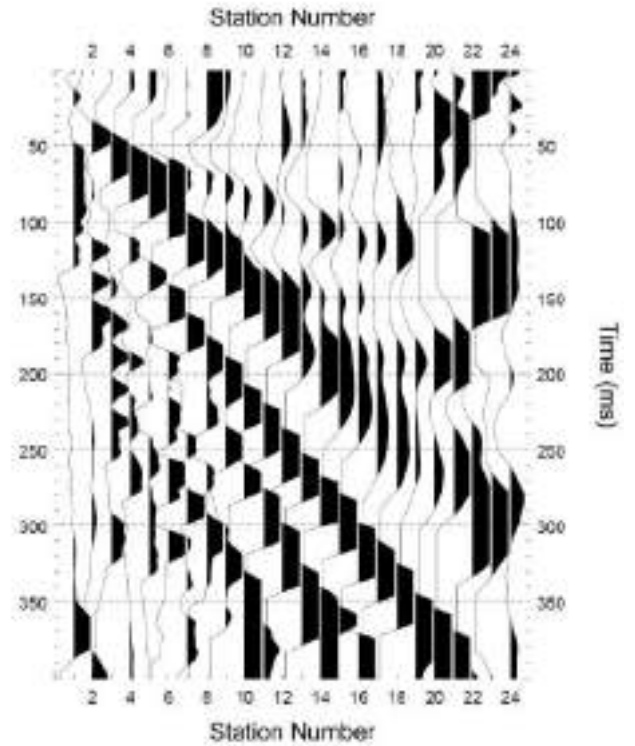


Stack 4

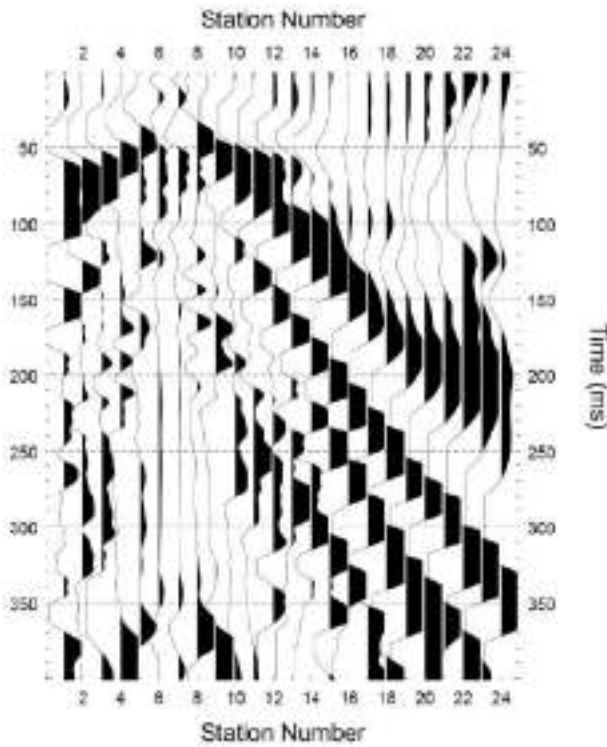
Tiro E1



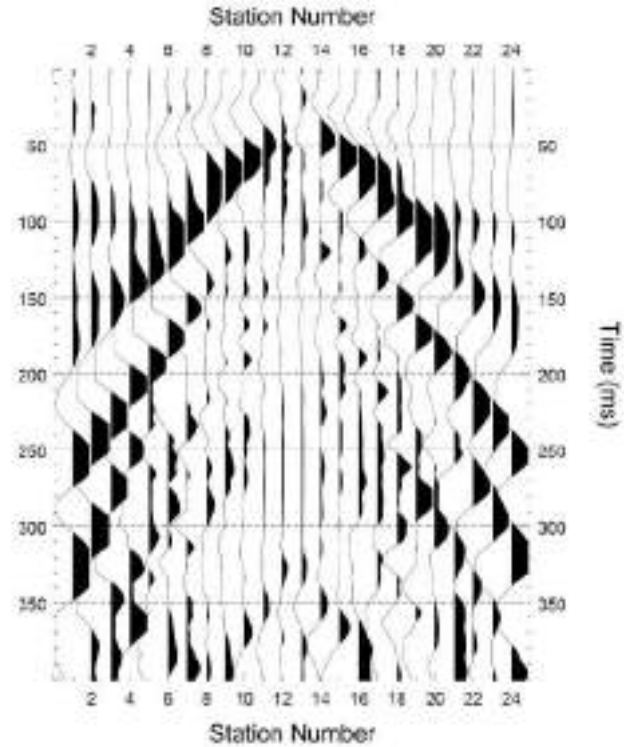
Tiro A



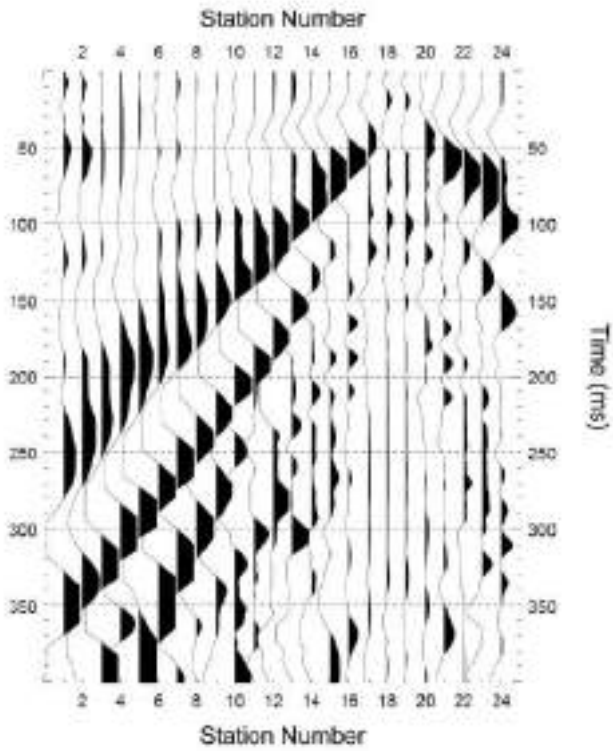
Tiro D1



Tiro C

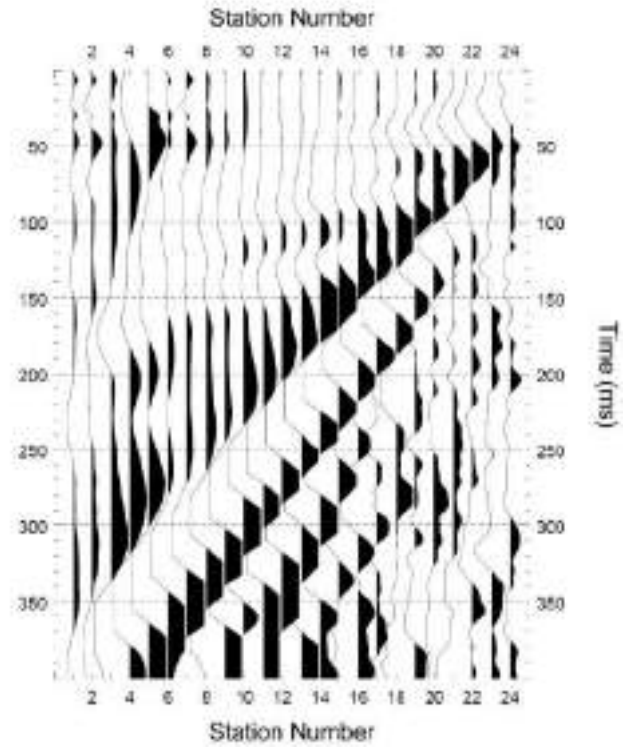


Tiro D2



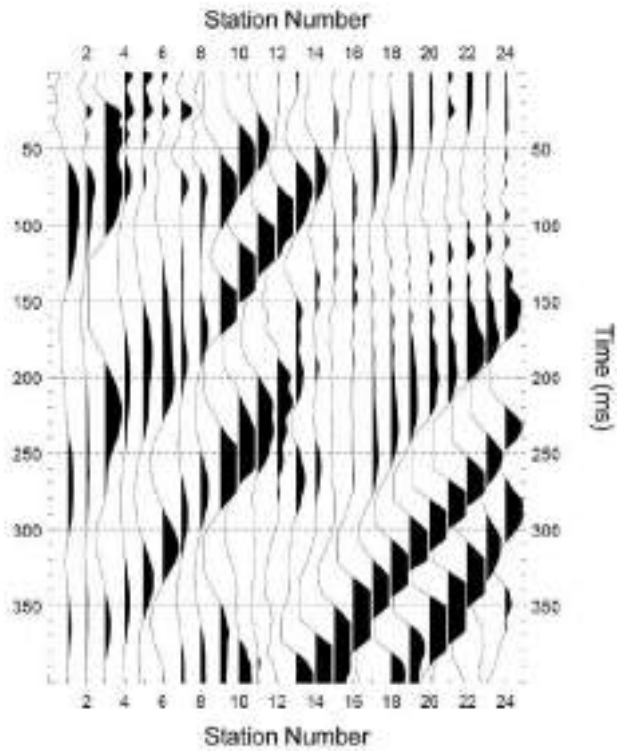
Stack 2

Tiro B



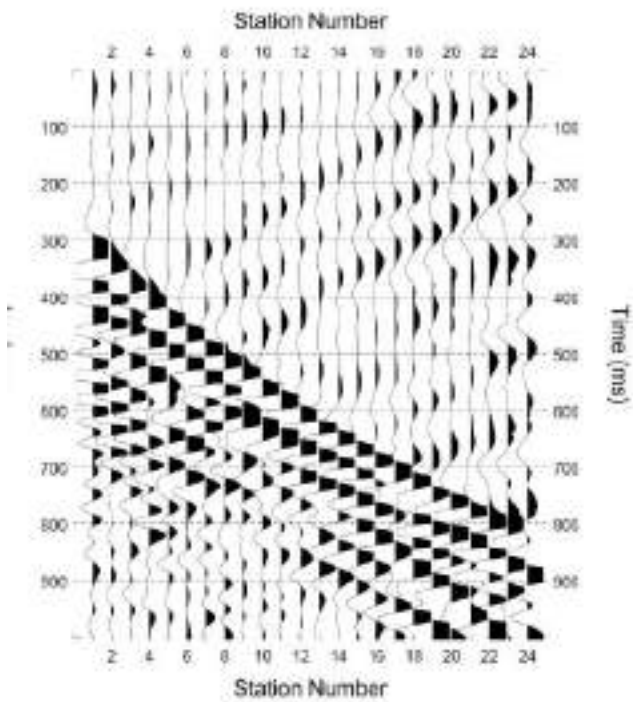
Stack 6

Tiro E2



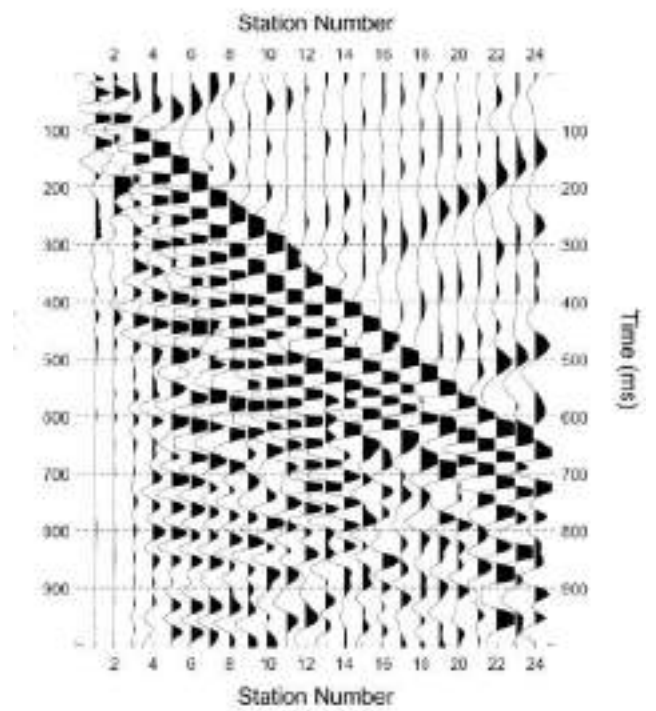
Stack 4

Tiro E1



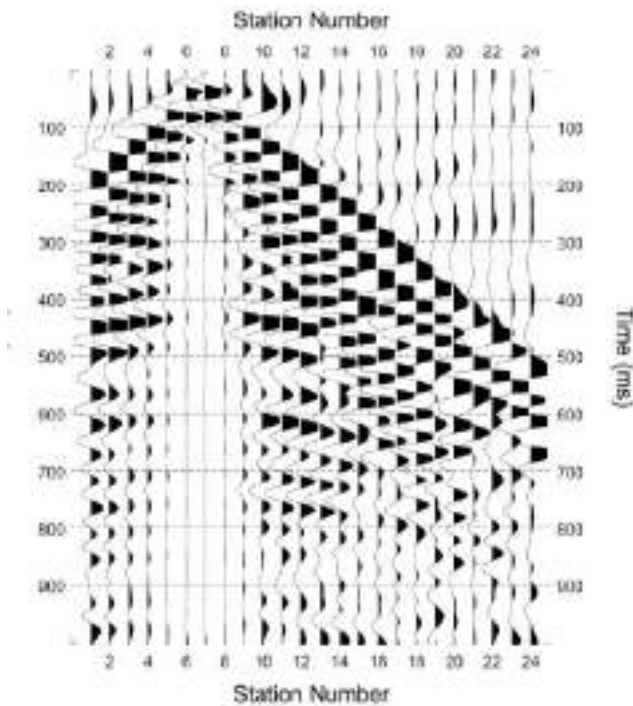
Stack 4

Tiro A



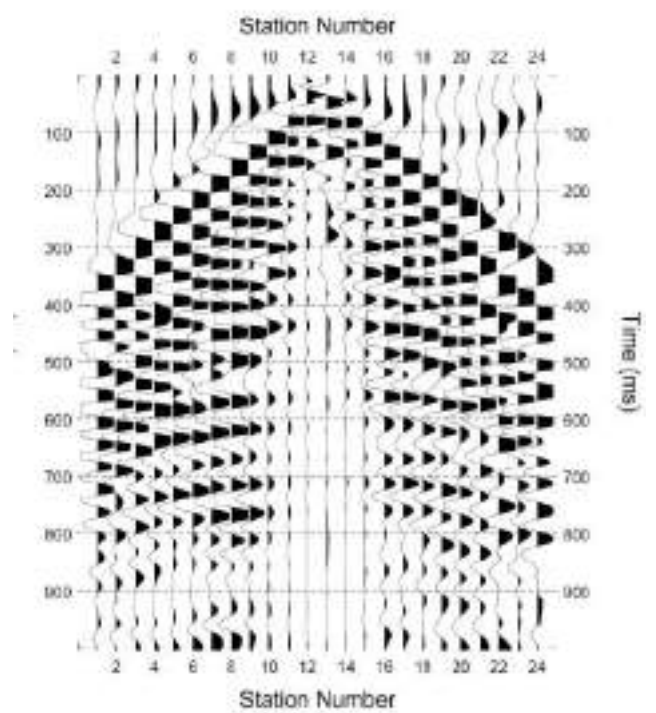
Stack 4

Tiro D1



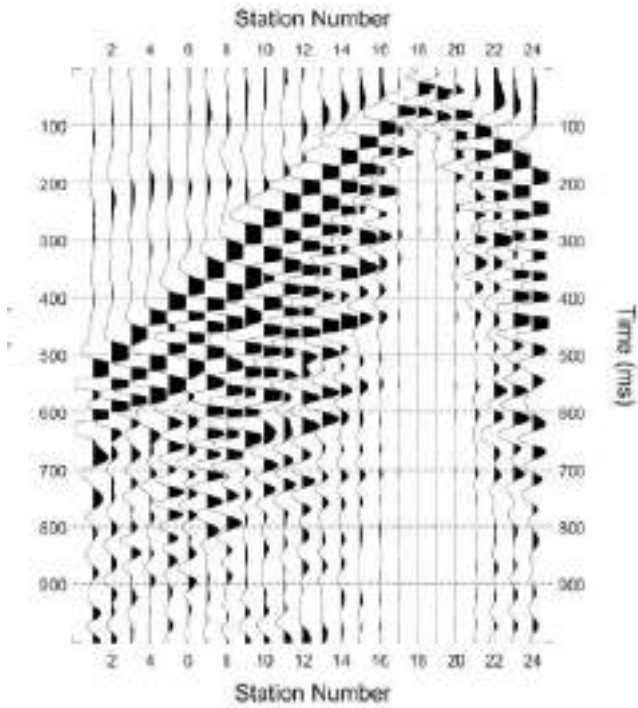
Stack 4

Tiro C



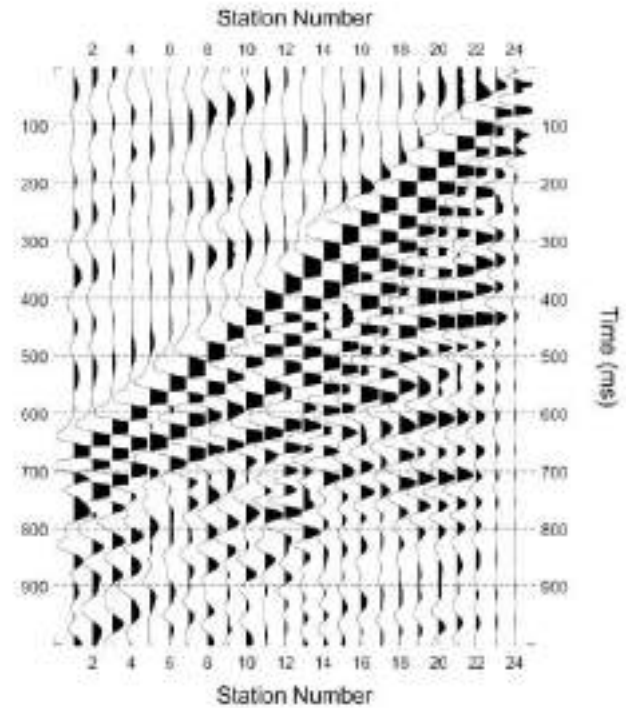
Stack 4

Tiro D2



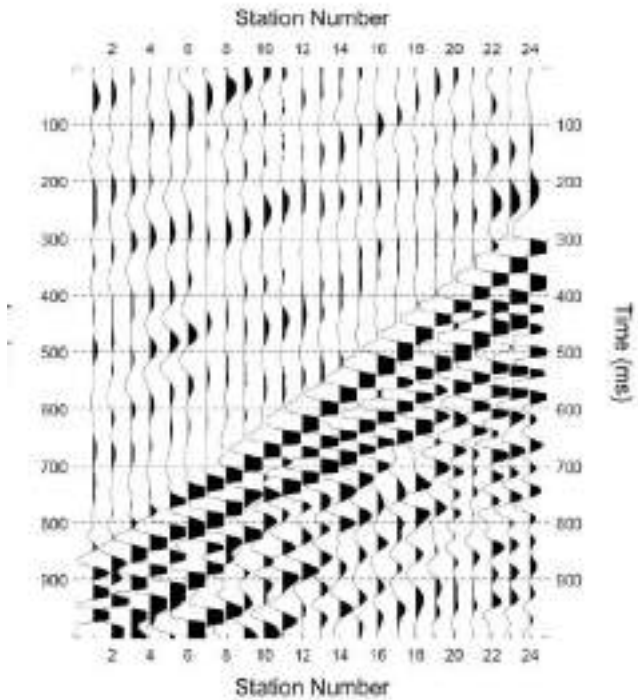
Stack 4

Tiro B



Stack 4

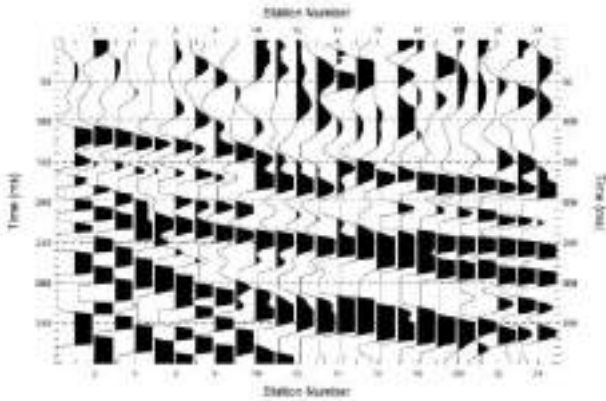
Tiro E2



Stack 4

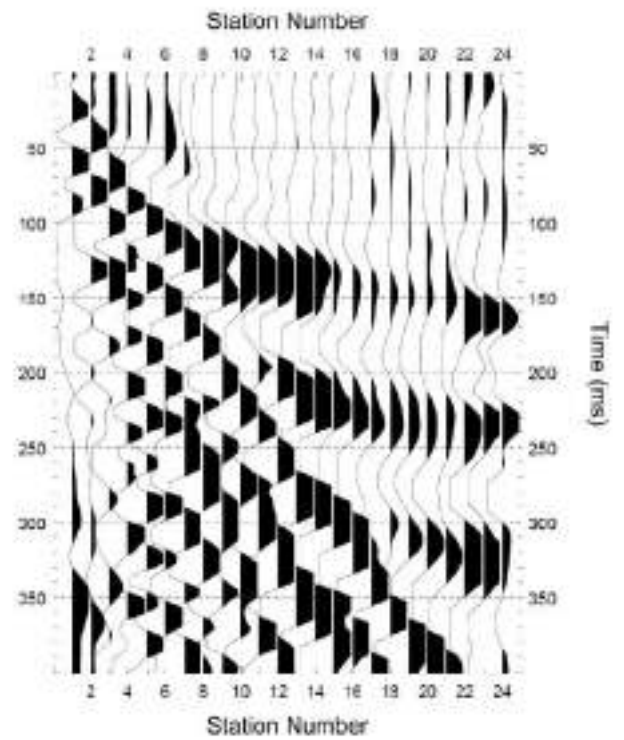


Tiro E1



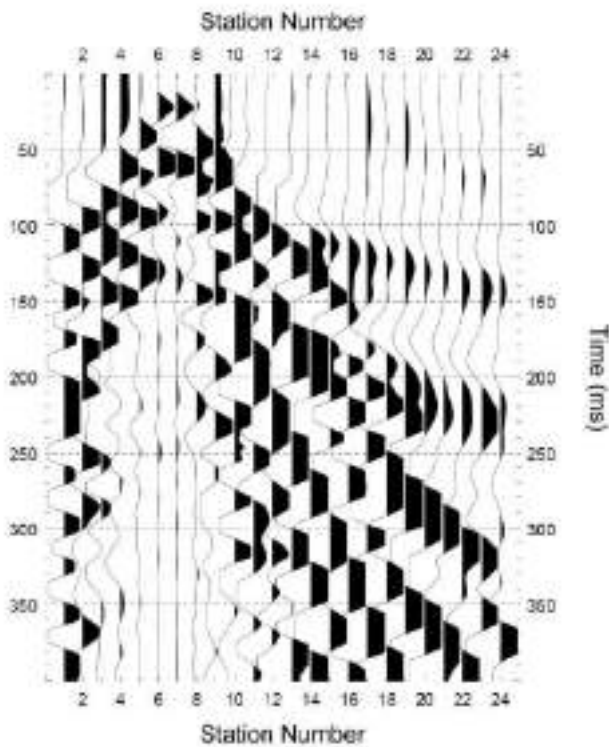
Stack 3

Tiro A



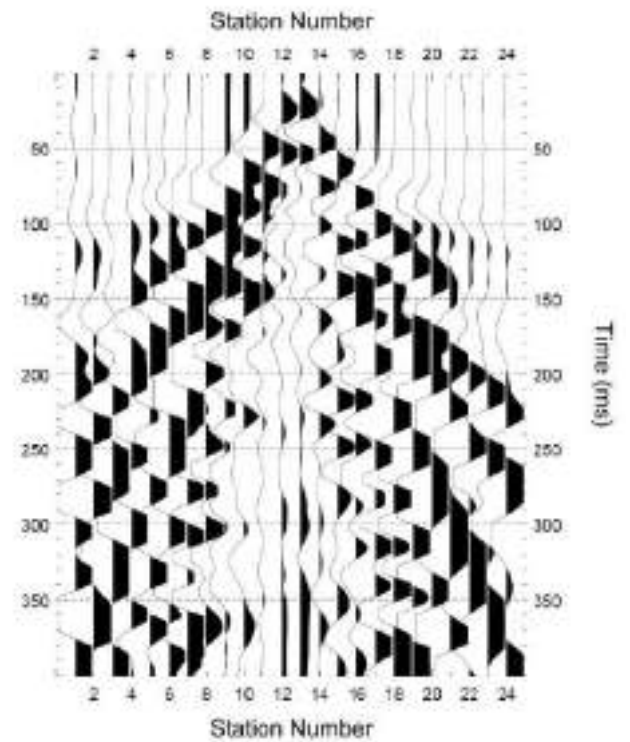
Stack 3

Tiro D1



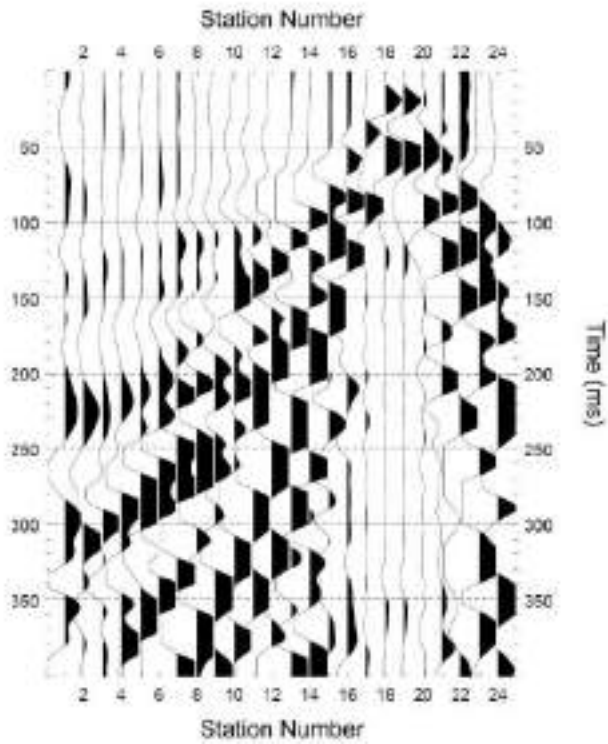
Stack 2

Tiro C



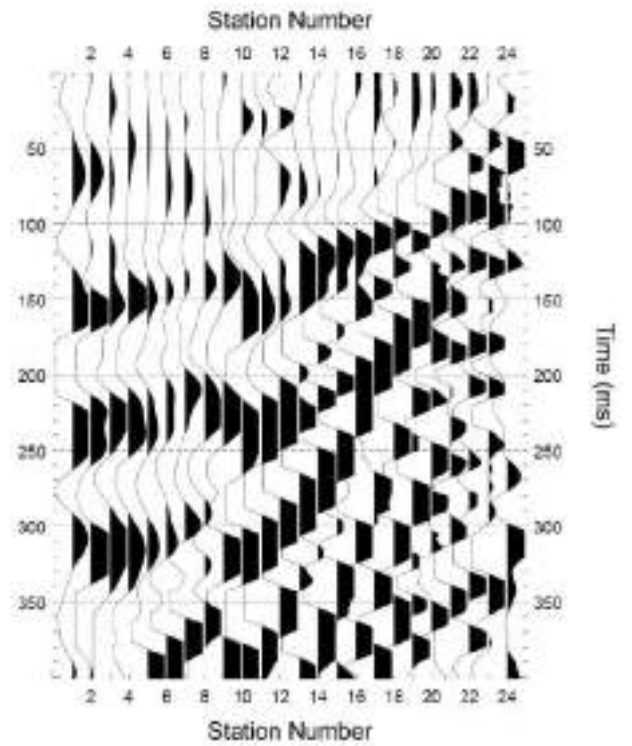
Stack 2

Tiro D2



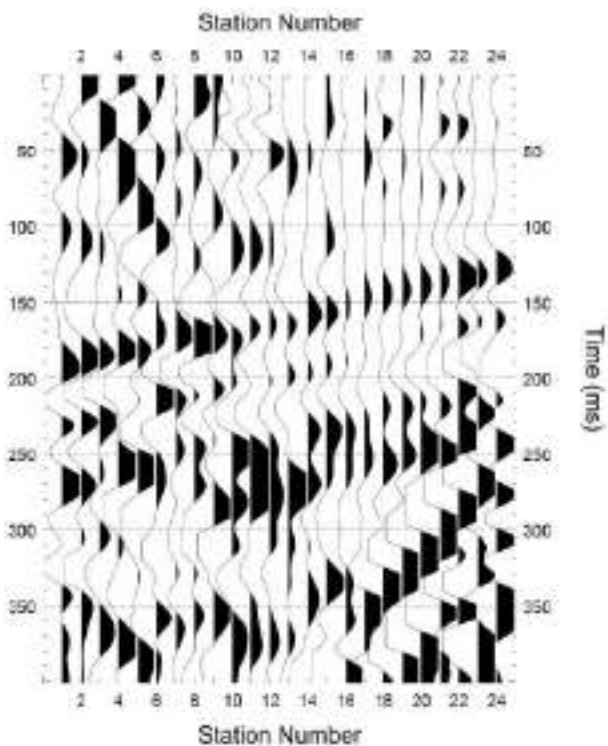
Stack 2

Tiro B



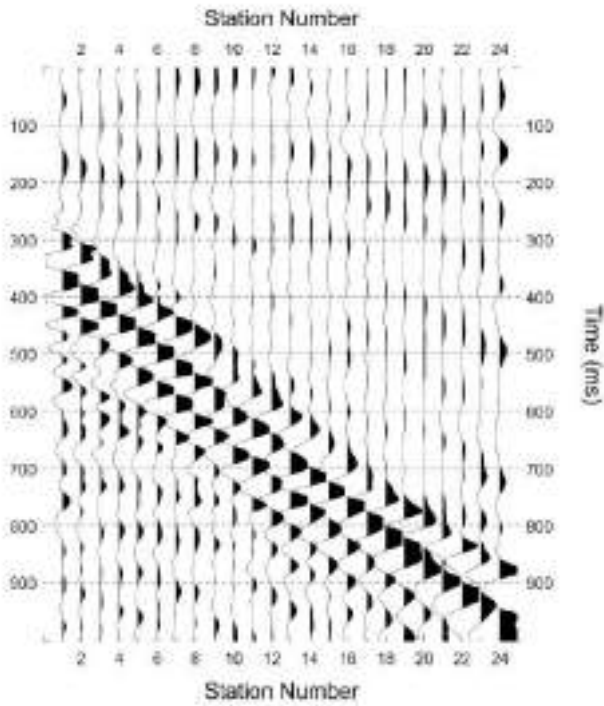
Stack 4

Tiro E2



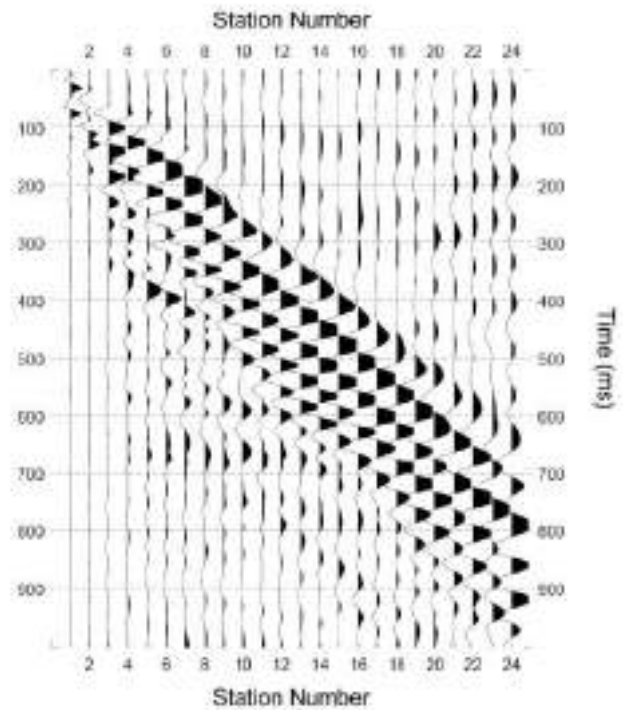
Stack 3

Tiro E1



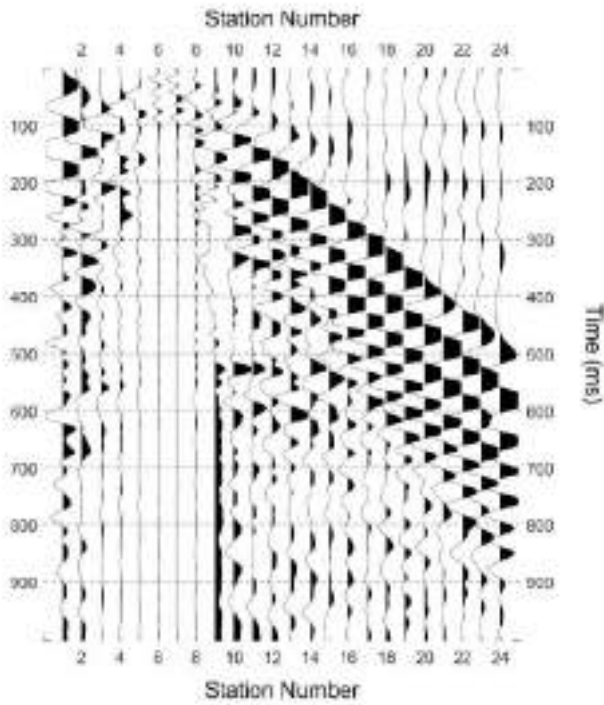
Stack 4

Tiro A



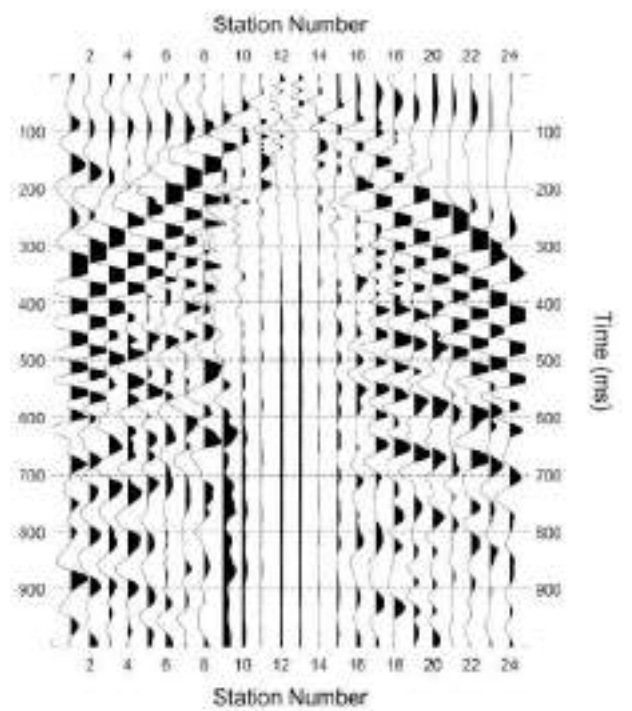
Stack 2

Tiro D1



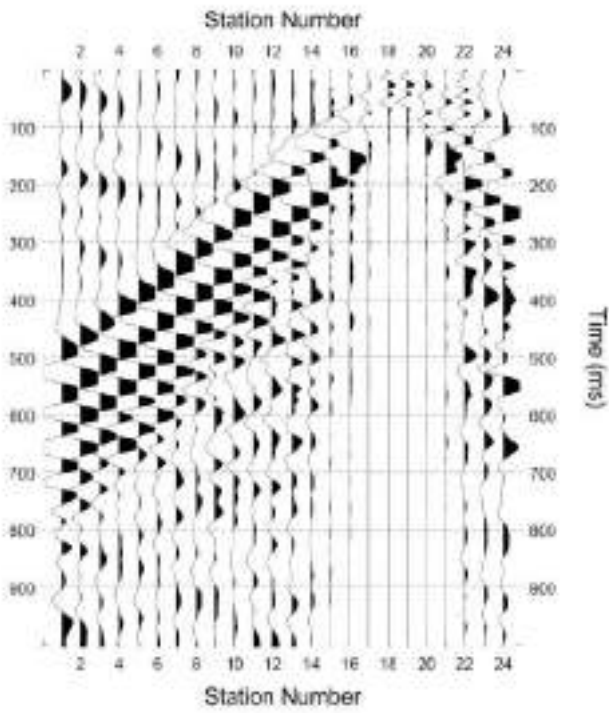
Stack 4

Tiro C



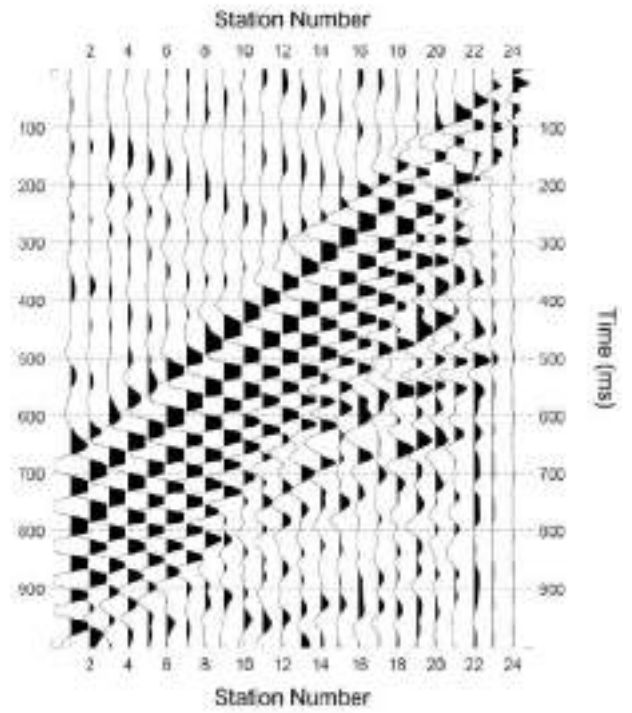
Stack 4

Tiro D2



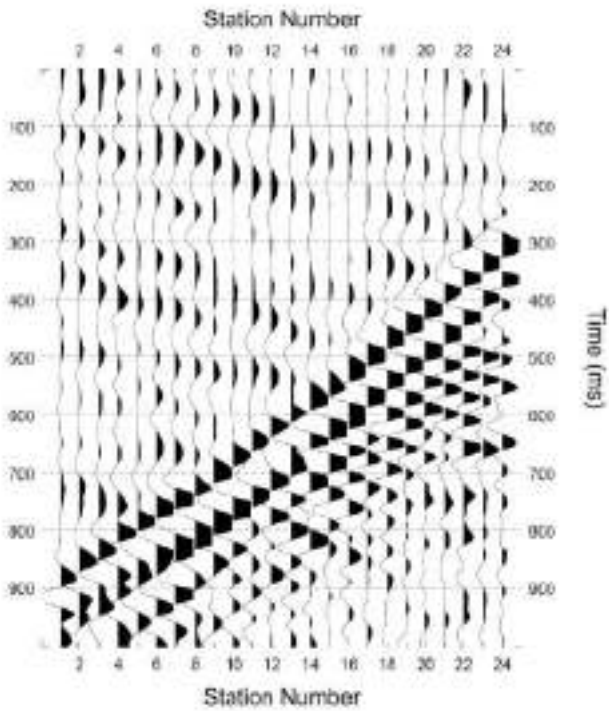
Stack 4

Tiro B



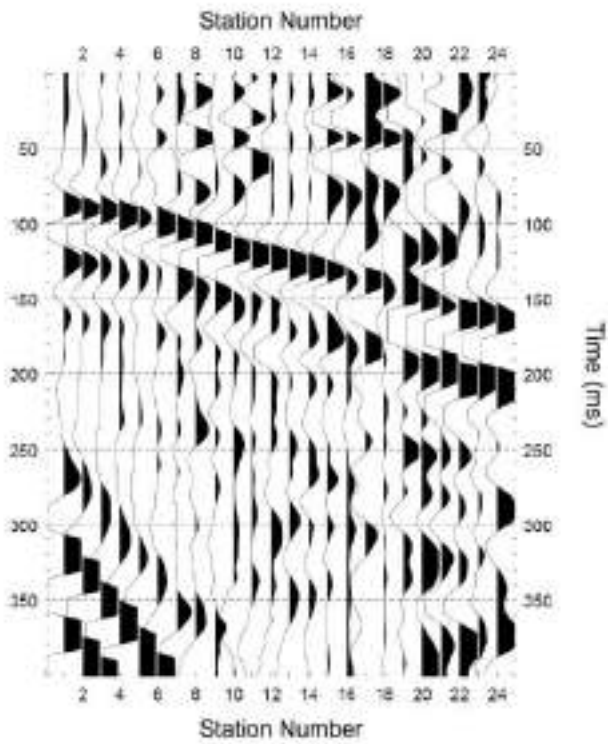
Stack 4

Tiro E2



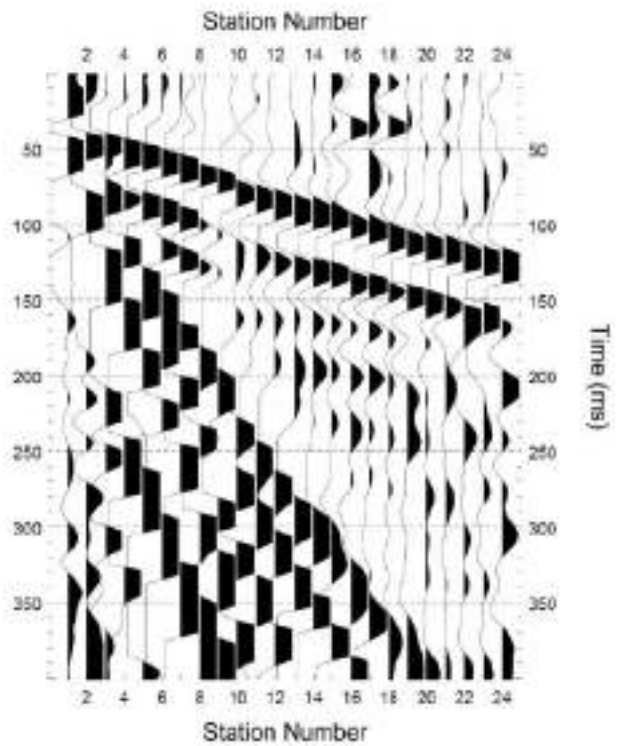
Stack 4

Tiro E1



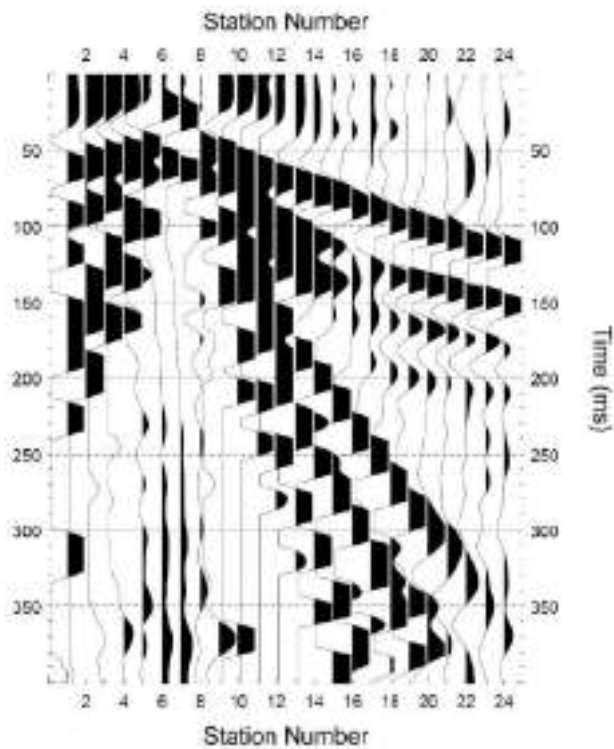
Stack 2

Tiro A



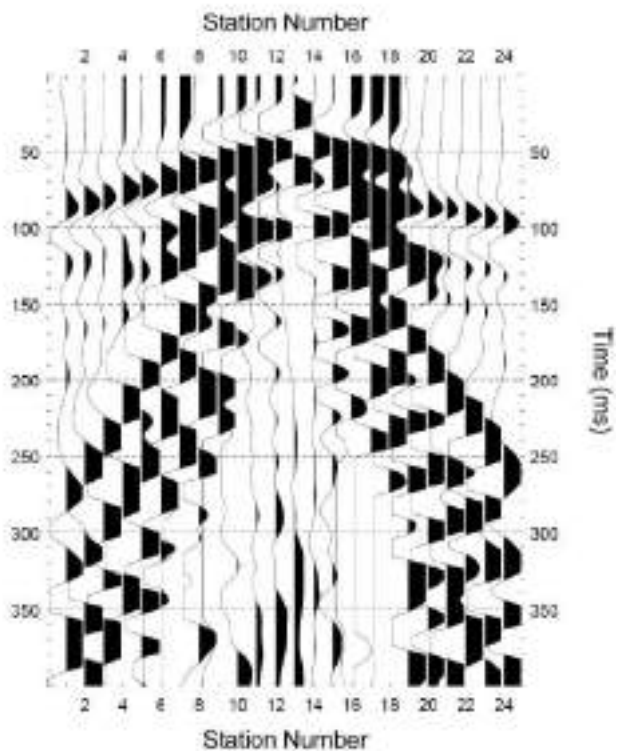
Stack 2

Tiro D1



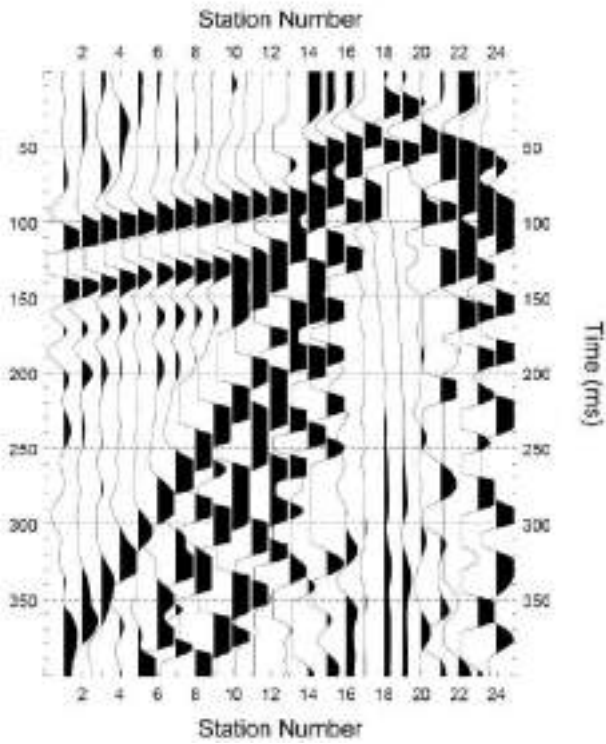
Stack 2

Tiro C



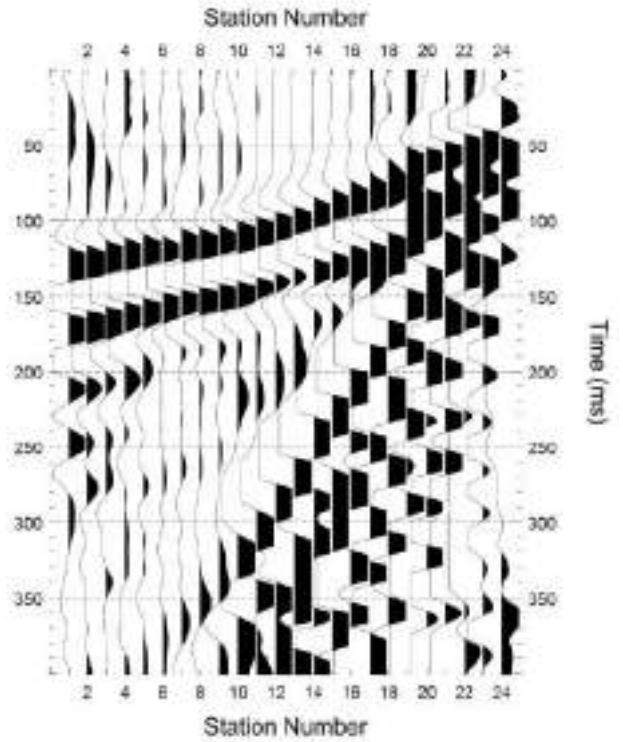
Stack 1

Tiro D2



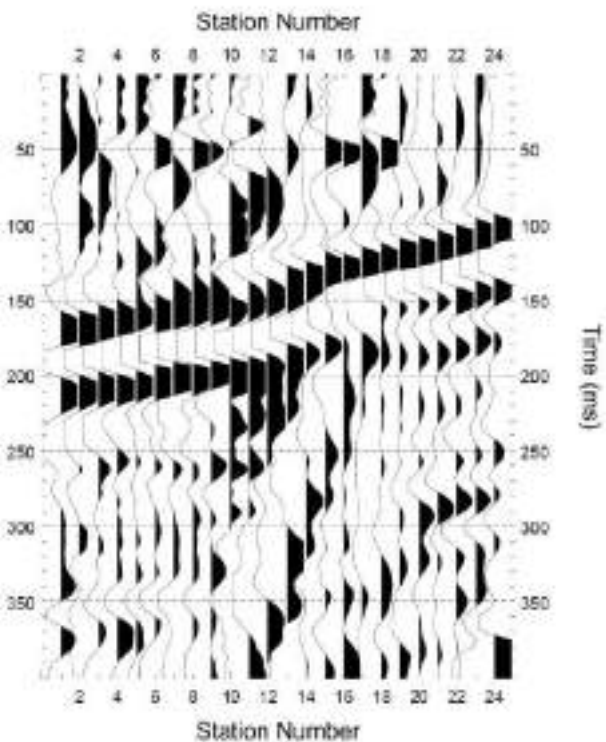
Stack 2

Tiro B



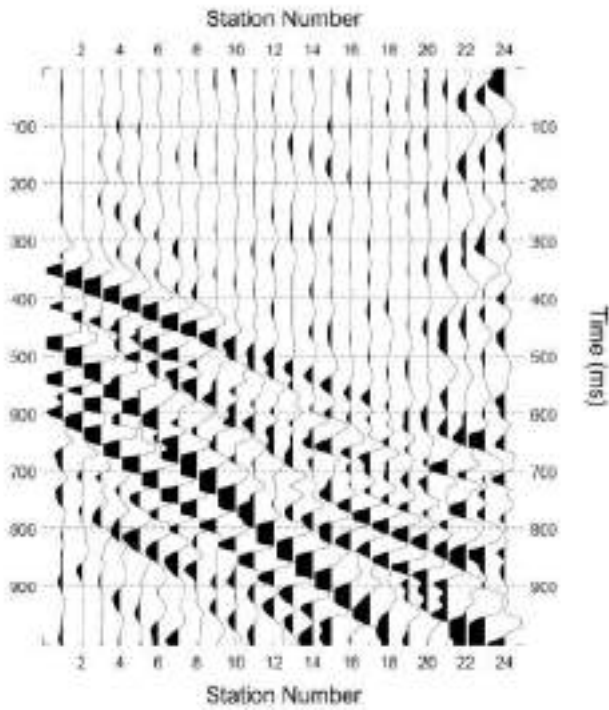
Stack 2

Tiro E2



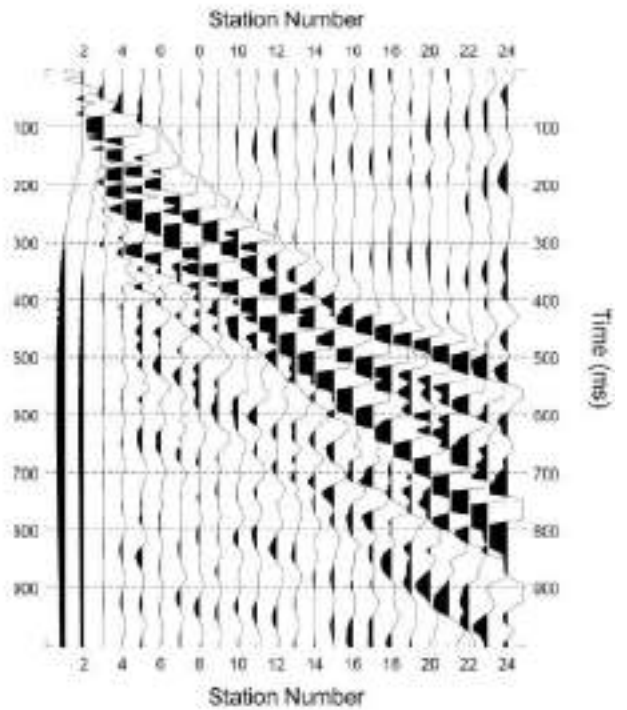
Stack 5

Tiro E1



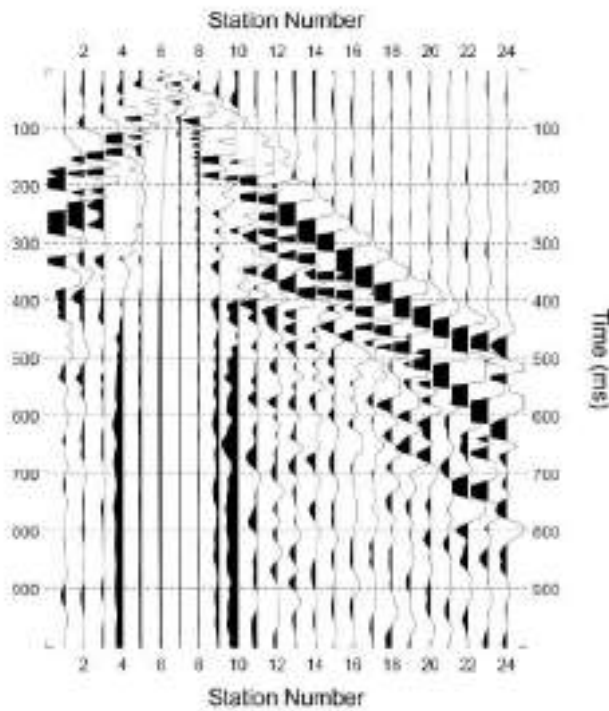
Stack 4

Tiro A



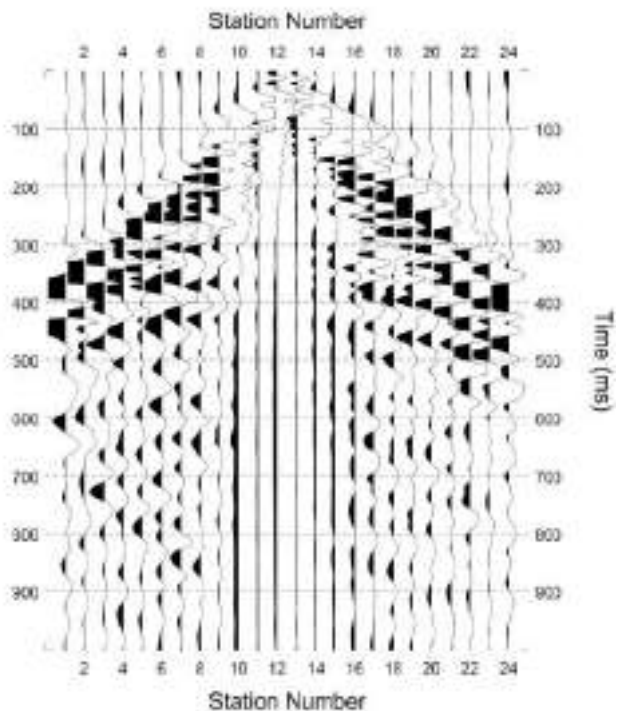
Stack 2

Tiro D1



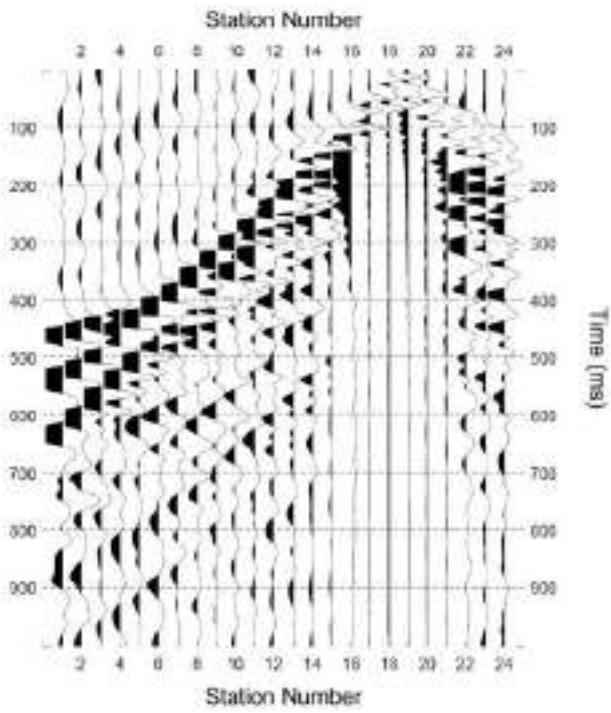
Stack 2

Tiro C



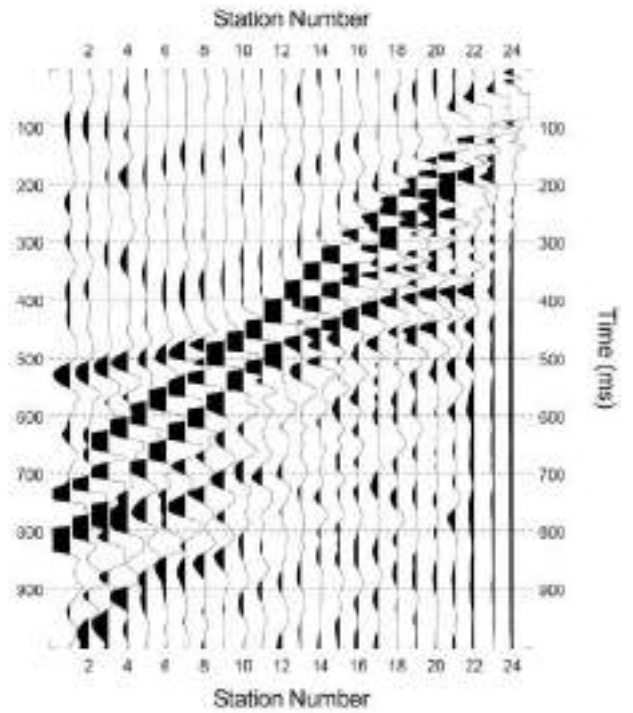
Stack 2

Tiro D2



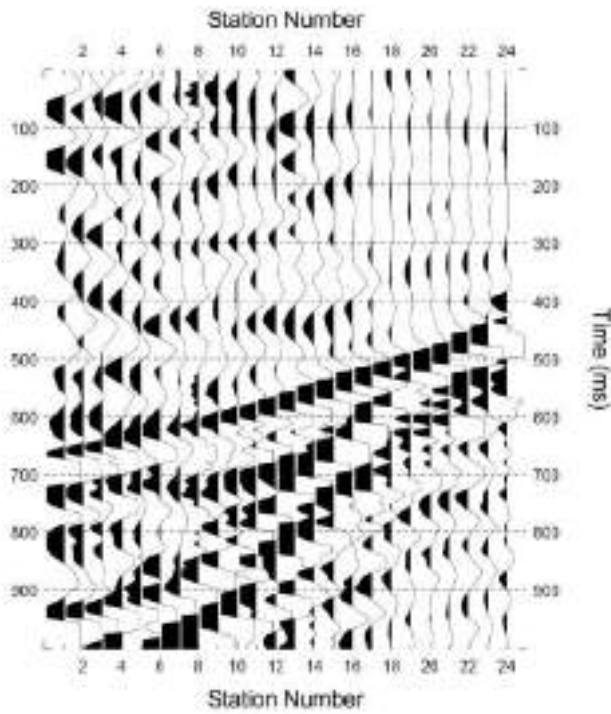
Stack 2

Tiro B



Stack 2

Tiro E2



Stack 4





Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. IT12/0149  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



**PROVINCIA DI PISA  
COMUNE DI CALCINAIA**

**INDAGINI GEOFISICHE**

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1**

**ALLEGATO 5**

**TABULATI, DROMOCRONE E SEZIONI  
SISMOSTRATIGRAFICHE  
SISMICA A RIFRAZIONE**

---

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)

Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 27/02/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Maglio da 90 Kg

Linea : ST1

Lunghezza : 120 ml



**0302271 - ST1 ONDE P - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

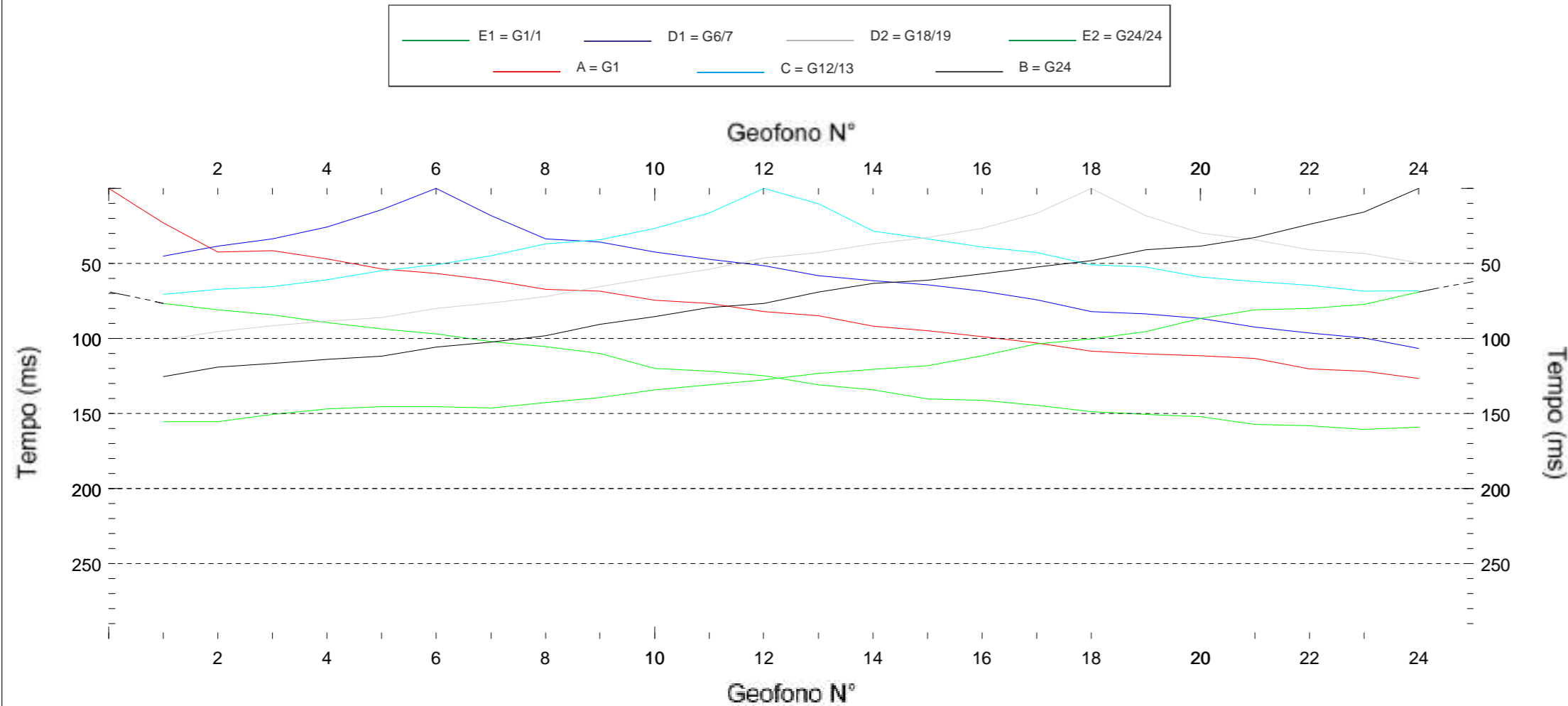
---

<b>Geofono N°</b>	<b>Ascissa</b>	<b>Quota geofono</b>	<b>Velocità strato 1</b>	<b>Profondità strato 2</b>	<b>Velocità strato 2</b>	<b>Profondità strato 3</b>	<b>Velocità strato 3</b>
1	0	12	472.73	4.31	1123.22		
2	5	12	476.03	4.35	1121.68		
3	10	12	480.89	4.39	1119.99		
4	15	12	485.54	4.45	1120.75		
5	20	12	490.67	4.51	1123.39		
6	25	12	495.76	4.57	1123.56		
7	30	12	500.02	4.64	1121.35		
8	35	12	503.38	4.7	1117.12		
9	40	12	506.27	4.76	1113.48		
10	45	12	508.89	4.84	1114.79		
11	50	12	510.53	4.92	1118.2		
12	55	12	514	5.01	1118.96		
13	60	12	517.85	5.1	1116.31		
14	65	12	521.4	5.19	1109.71		
15	70	12	525.14	5.28	1101.23		
16	75	12	528.54	5.38	1094.13		
17	80	12	529.25	5.48	1090.39		
18	85	12	528.69	5.58	1087.85		
19	90	12	528.01	5.68	1083.39		
20	95	12	526.57	5.77	1076.17		
21	100	12	525.32	5.84	1064.74		
22	105	12	524.12	5.91	1055.34		
23	110	12	523.01	5.95	1048.96		
24	115	12	522.04	5.99	1046.07		

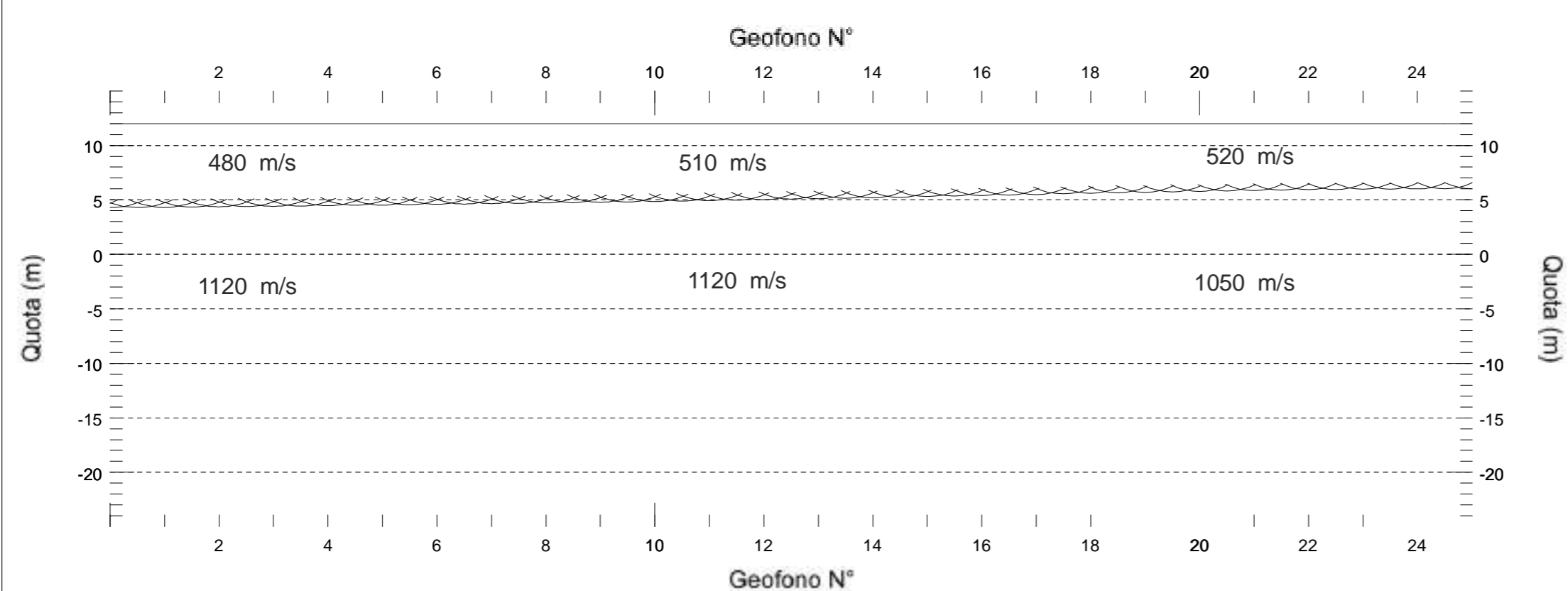


**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geostatiche ed Ambientali



- LEGENDA**
- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
  - Profilo topografico
  - Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
  - 1100 m/s Velocità sismica dello strato



**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: Saletta  
 Data: 26/02/2012

Linea: ST1\_P      ID: 1202261



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 27/02/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Mazza da 10 Kg

Linea : ST1

Lunghezza : 120 ml

## 0302272 - ST1 ONDE SH - TEMPI DI PROPAGAZIONE

<u>Scoppio N°1</u>			<u>Scoppio N°2</u>			<u>Scoppio N°3</u>			<u>Scoppio N°4</u>			<u>Scoppio N°5</u>			<u>Scoppio N°6</u>			<u>Scoppio N°7</u>		
Posizione: -50m	Quota: 12m		Posizione: -2.5m	Quota: 12m		Posizione: 27.5m	Quota: 12m		Posizione: 57.5m	Quota: 12m		Posizione: 87.5m	Quota: 12m		Posizione: 117.5m	Quota: 12m		Posizione: 165m	Quota: 12m	
Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo	
1	290.427	8	1	11.528	10	1	146.065	8	1	311.518	8	1	152.615	8	1	621.333	8	1	788.358	17
2	327.762	9	2	37.466	11	2	118.555	9	2	288.855	9	2	120.127	9	2	601.814	9	2	776.961	18
3	356.975	10	3	61.832	12	3	61.832	10	3	261.214	10	3	95.892	10	3	582.426	10	3	756.001	19
4	384.485	11	4	87.77	13	4	87.77	11	4	235.276	11	4	8.253	11	4	558.06	11	4	739.757	20
5	415.27	12	5	118.555	14	5	118.555	12	5	204.491	12	5	39.038	12	5	536.969	12	5	721.941	21
6	446.186	13	6	149.34	15	6	149.34	13	6	176.981	13	6	63.404	13	6	515.878	13	6	702.422	22
7	467.277	14	7	172.134	16	7	172.134	14	7	152.615	14	7	92.617	14	7	494.787	14	7	686.178	23
8	491.643	15	8	211.041	17	8	211.041	15	8	120.127	15	8	121.83	15	8	468.849	15	8	673.209	24
9	517.581	16	9	233.704	18	9	233.704	16	9	95.892	16	9	151.043	16	9	446.186	16	9	653.821	
10	522.428	17	10	267.764	19	10	267.764	17	10	68.251	17	10	120.127	17	10	407.279	17	10	524	
11	556.488	18	11	298.549	20	11	298.549	18	11	288.855	18	11	95.892	18	11	387.76	18	11	501.337	
12	567.885	19	12	321.212	21	12	321.212	19	12	261.214	19	12	63.404	19	12	601.814	19	12	480.246	
13	592.12	20	13	353.7	22	13	353.7	20	13	235.276	20	13	92.617	20	13	582.426	20	13	451.033	
14	606.792	21	14	373.219	23	14	373.219	21	14	204.491	21	14	92.617	21	14	558.06	21	14	421.82	
15	634.302	22	15	400.729	24	15	400.729	22	15	176.981	22	15	63.404	22	15	536.969	22	15	391.035	
16	648.843	23	16	428.37		16	428.37	23	16	152.615	23	16	92.617	23	16	515.878	23	16	368.241	
17	669.934	24	17	465.705		17	465.705	24	17	120.127	24	17	121.83	24	17	494.787	24	17	306.671	
18	682.903		18	486.796		18	486.796		18	95.892		18	151.043		18	468.849		18	282.305	
19	699.147		19	509.459		19	509.459		19	68.251		19	120.127		19	446.186		19	261.214	
20	719.19		20	524		20	524		20	288.855		20	95.892		20	407.279		20	342.303	
21	740.412		21	548.366		21	548.366		21	261.214		21	63.404		21	387.76		21	313.221	
22	754.56		22	575.876		22	575.876		22	235.276		22	92.617		22	558.06		22	288.855	
23	768.708		23	588.845		23	588.845		23	204.491		23	92.617		23	536.969		23	264.489	
24	797.004		24	609.936		24	609.936		24	176.981		24	63.404		24	264.489		24	233.704	

---

**0302272 - ST1 ONDE SH - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

---

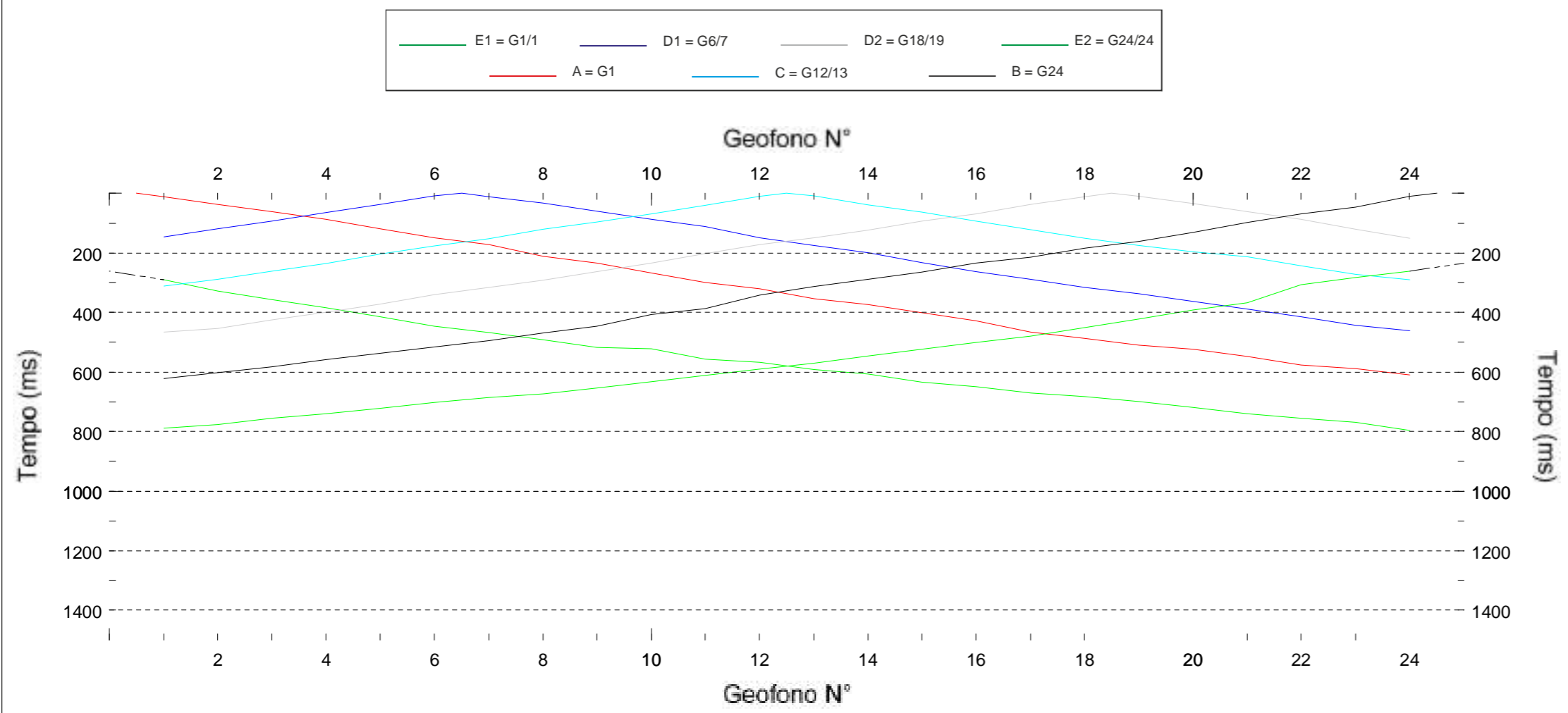
<b>Geofono N°</b>	<b>Ascissa</b>	<b>Quota geofono</b>	<b>Velocità strato 1</b>	<b>Profondità strato 2</b>	<b>Velocità strato 2</b>	<b>Profondità strato 3</b>	<b>Velocità strato 3</b>
1	0	12	179.15	11.37	188.71		
2	5	12	179.15	11.37	188.76		
3	10	12	179.15	11.37	189.12		
4	15	12	179.15	11.36	189.16		
5	20	12	179.15	11.34	189.12		
6	25	12	179.05	11.31	188.8		
7	30	12	179.12	11.28	188.54		
8	35	12	179.33	11.23	188.35		
9	40	12	179.63	11.17	188.24		
10	45	12	179.89	11.1	188.21		
11	50	12	180.33	11.02	188.25		
12	55	12	180.88	10.93	188.31		
13	60	12	181.12	10.82	188		
14	65	12	181.18	10.71	188.11		
15	70	12	181.29	10.59	188.37		
16	75	12	181.34	10.46	189.04		
17	80	12	181.15	10.33	189.67		
18	85	12	181.04	10.21	190.24		
19	90	12	181.04	10.08	190.62		
20	95	12	181.04	9.97	190.87		
21	100	12	181.04	9.88	191.04		
22	105	12	181.04	9.79	191.14		
23	110	12	181.04	9.72	191.33		
24	115	12	181.04	9.66	191.38		





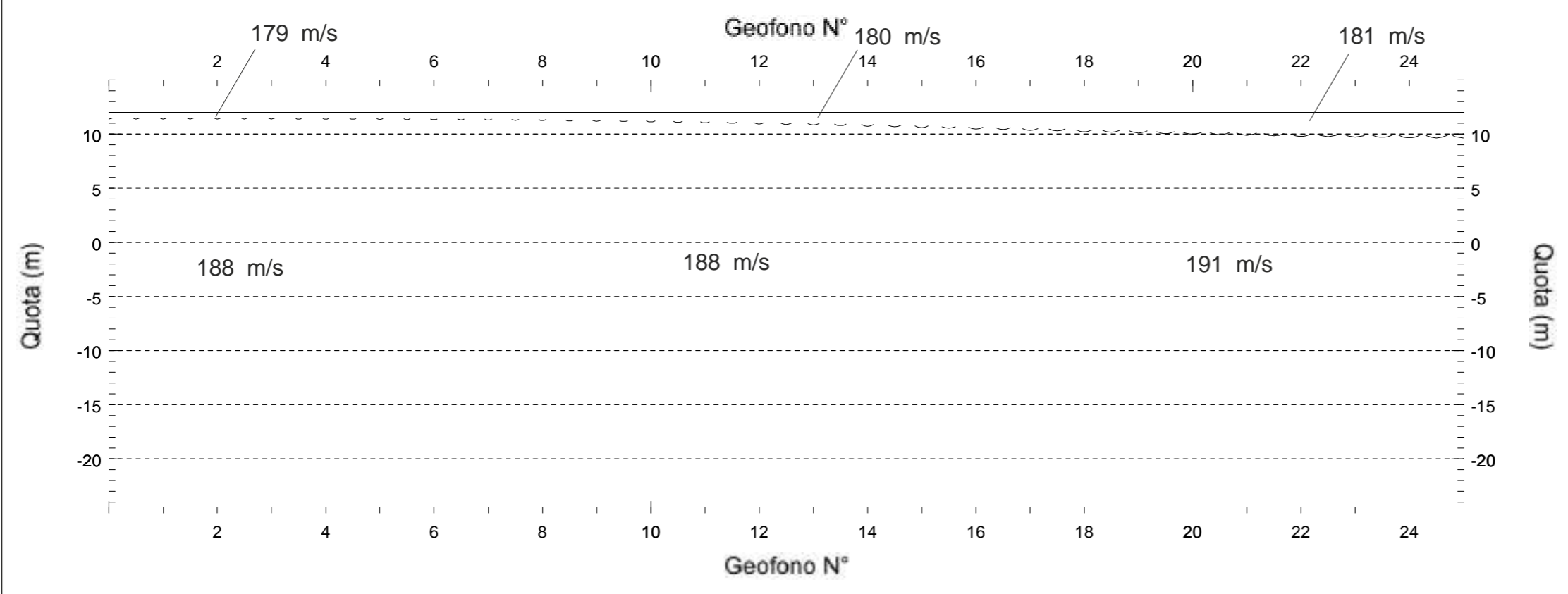
**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geognostiche ed Ambientali



**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s Velocità sismica dello strato



**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: Saletta  
 Data: 26/02/2012

Linea: ST1\_SH      ID: 1202262



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 28/02/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Maglio da 90 Kg

Linea : ST2

Lunghezza : 120 ml

### 0302281 - ST2 ONDE P - TEMPI DI PROPAGAZIONE

<u>Scoppio N°1</u>			<u>Scoppio N°2</u>			<u>Scoppio N°3</u>			<u>Scoppio N°4</u>			<u>Scoppio N°5</u>			<u>Scoppio N°6</u>			<u>Scoppio N°7</u>		
Posizione: -50m			Posizione: -2.5m			Posizione: 27.5m			Posizione: 57.5m			Posizione: 87.5m			Posizione: 117.5m			Posizione: 165m		
Quota: 9.5m			Quota: 9.5m			Quota: 9.5m			Quota: 9.5m			Quota: 9.5m			Quota: 9.5m			Quota: 9.5m		
Geofono			Geofono			Geofono			Geofono			Geofono			Geofono			Geofono		
Tempo di arrivo			Tempo di arrivo			Tempo di arrivo			Tempo di arrivo			Tempo di arrivo			Tempo di arrivo			Tempo di arrivo		
1	57.771	8	16.375	17	14.934	1	5.502	8	28.558	17	46.767	1	65.893	10	19.781	17	35.501	1	152.222	
2	61.177	9	20.436	18	5.502	2	18.995	9	24.497	18	41.789	2	61.177	11	15.72	18	38.252	2	149.471	
3	65.893	10	21.746	19	4.847	3	18.995	10	19.781	19	35.37	3	53.055	12	6.812	19	44.016	3	146.851	
4	75.456	11	27.248	20	16.375	4	23.842	11	15.72	20	29.737	4	50.304	13	4.847	20	48.208	4	142.659	
5	78.862	12	34.715	21	20.436	5	29.213	12	6.812	21	27.248	5	46.112	14	17.03	21	53.841	5	140.694	
6	84.233	13	41.789	22	25.152	6	33.274	13	4.847	22	21.746	6	40.348	15	21.091	22	60.915	6	137.943	
7	87.639	14	47.422	23	24.497	7	34.06	14	17.03	23	17.685	7	34.06	16	21.746	23	67.989	7	135.978	
8	91.7	15	54.627	24	31.309	8	39.431	15	21.091	24	6.157	8	28.558	17	21.746	24	67.989	8	131.786	
9	93.796	16	60.522			9	45.326	16	21.746			9	24.497	18	28.427			9	131.131	
10	101.263	17	67.989			10	50.959	17	28.427			10	24.497	19	35.501			10	127.07	
11	103.359	18	72.967			11	59.867	18	35.501			11	19.781	20	38.252			11	125.105	
12	108.075	19	77.29			12	67.989	19	38.252			12	19.781	21	44.016			12	118.948	
13	114.232	20	83.578			13	75.063	20	44.016			13	19.781	22	48.208			13	114.232	
14	116.852	21	88.425			14	81.613	21	48.208			14	19.781	23	53.841			14	112.136	
15	121.699	22	89.735			15	86.329	22	53.841			15	19.781	24	60.915			15	109.385	
16	129.821	23	93.796			16	90.39	23	60.915			16	19.781					16	106.765	
17	131.786	24	99.167			17	92.486	24	67.989			17	19.781					17	101.918	
18	142.004					18	96.547					18	19.781					18	101.263	
19	141.349					19	99.953					19	19.781					19	99.167	
20	142.004					20	104.014					20	19.781					20	99.167	
21	147.506					21	106.765					21	19.781					21	95.106	
22	148.816					22	109.123					22	19.781					22	89.08	
23	152.877					23	116.852					23	19.781					23	87.639	
24	156.283					24	121.83					24	19.781					24	80.172	

**0302281 - ST2 ONDE P - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

---

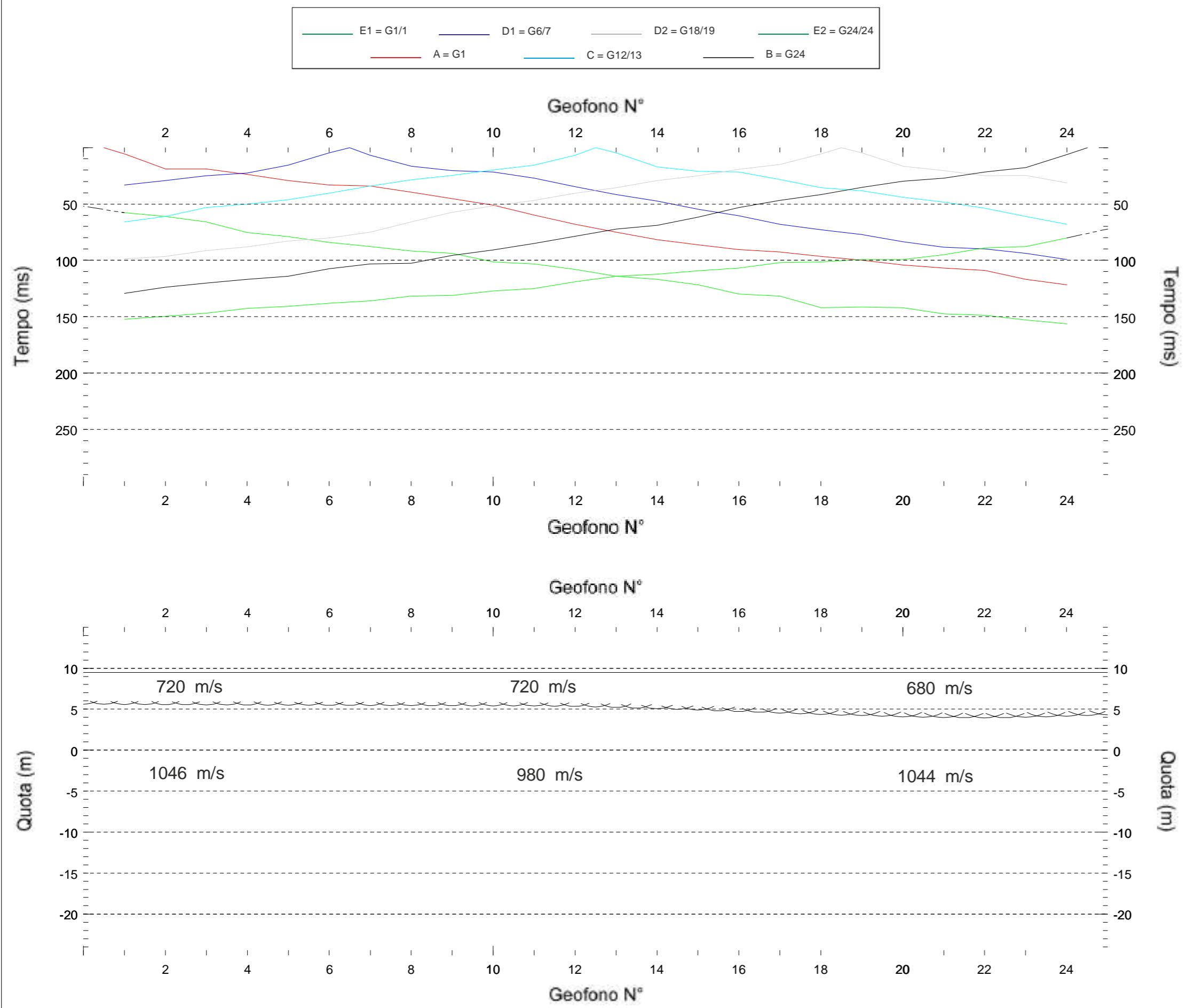
<b>Geofono N°</b>	<b>Ascissa</b>	<b>Quota geofono</b>	<b>Velocità strato 1</b>	<b>Profondità strato 2</b>	<b>Velocità strato 2</b>	<b>Profondità strato 3</b>	<b>Velocità strato 3</b>
1	0	9.5	720.45	5.56	1046.23		
2	5	9.5	720.45	5.53	1047.07		
3	10	9.5	720.45	5.51	1046		
4	15	9.5	720.45	5.49	1043.91		
5	20	9.5	720.45	5.47	1040.01		
6	25	9.5	720.45	5.45	1034.12		
7	30	9.5	720.45	5.43	1025.51		
8	35	9.5	720.45	5.42	1014.26		
9	40	9.5	720.45	5.41	1002.32		
10	45	9.5	720.45	5.4	992.11		
11	50	9.5	720.45	5.37	984.37		
12	55	9.5	720.45	5.31	976.95		
13	60	9.5	720.45	5.2	970.39		
14	65	9.5	720.45	5.04	967.84		
15	70	9.5	720.45	4.87	972.07		
16	75	9.5	720.69	4.69	980.71		
17	80	9.5	722.11	4.52	992.35		
18	85	9.5	724.8	4.35	1012.18		
19	90	9.5	720.86	4.19	1025.29		
20	95	9.5	711.97	4.06	1030.62		
21	100	9.5	705.58	3.97	1037.04		
22	105	9.5	694.53	3.93	1042.23		
23	110	9.5	680.03	3.98	1044.48		
24	115	9.5	669	4.12	1044.63		



**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com



Indagini Geostatiche ed Ambientali



**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s Velocità sismica dello strato

**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: Fornacette - Case Bianche  
 Data: 28/02/2012

Linea: ST2\_P

ID: 1202281



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : Marzo 2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Mazza da 10 Kg

Linea : ST2

Lunghezza : 120 ml

**0302282 - ST2 ONDE SH - TEMPI DI PROPAGAZIONE**

<u>Scoppio N°1</u>	<u>Posizione: -50m</u>	<u>Quota: 9.5m</u>						
	Geofono	Tempo di arrivo	8	39.038		17	37.466	
	1	279.161	9	60.129		18	11.528	
	2	300.252	10	87.77		19	9.956	
	3	335.884	11	108.861		20	34.191	
	4	369.944	12	142.921		21	60.129	
	5	391.035	13	168.859		22	92.617	
	6	418.676	14	193.094		23	115.28	
	7	446.186	15	238.551		24	131.524	
	8	470.552	16	272.611				
	9	501.337	17	298.549		<u>Scoppio N°6</u>	<u>Posizione: 117.5m</u>	<u>Quota: 9.5m</u>
	10	532.122	18	324.487		Geofono	Tempo di arrivo	
	11	551.641	19	353.7		1	639.149	
	12	575.876	20	384.485		2	622.905	
	13	593.823	21	408.851		3	592.12	
	14	614.914	22	428.37		4	574.304	
	15	634.302	23	447.758		5	549.938	
	16	648.843	24	476.971		6	519.153	
	17	661.943				7	501.337	
	18	668.362	<u>Scoppio N°4</u>	<u>Posizione: 57.5m</u>	<u>Quota: 9.5m</u>	8	468.849	
	19	686.178	Geofono	Tempo di arrivo		9	434.789	
	20	700.85	1	321.212		10	408.851	
	21	708.972	2	287.152		11	378.066	
	22	713.819	3	261.214		12	342.303	
	23	721.941	4	238.551		13	309.946	
	24	739.757	5	209.338		14	285.58	
			6	183.4		15	249.948	
			7	154.187		16	222.307	
<u>Scoppio N°2</u>	<u>Posizione: -2.5m</u>	<u>Quota: 9.5m</u>	8	128.249		17	204.491	
	Geofono	Tempo di arrivo	9	95.892		18	176.981	
	1	11.528	10	68.251		19	149.34	
	2	40.741	11	39.038		20	128.249	
	3	73.098	12	9.956		21	92.617	
	4	99.036	13	13.1		22	69.954	
	5	128.249	14	35.894		23	42.313	
	6	157.462	15	69.954		24	21.222	
	7	178.553	16	102.311				
	8	193.094	17	126.677		<u>Scoppio N°7</u>	<u>Posizione: 165m</u>	<u>Quota: 9.5m</u>
	9	232.132	18	152.615		Geofono	Tempo di arrivo	
	10	262.917	19	173.706		1	743.032	
	11	287.152	20	199.644		2	738.054	
	12	314.793	21	219.163		3	738.054	
	13	348.853	22	251.52		4	729.932	
	14	374.791	23	275.886		5	725.085	
	15	395.882	24	303.396		6	718.666	
	16	420.248				7	705.697	
	17	455.88	<u>Scoppio N°5</u>	<u>Posizione: 87.5m</u>	<u>Quota: 9.5m</u>	8	692.728	
	18	499.765	Geofono	Tempo di arrivo		9	674.912	
	19	517.581	1	489.94		10	658.668	
	20	533.825	2	468.849		11	639.149	
	21	575.876	3	444.614		12	618.058	
	22	596.967	4	416.973		13	596.967	
	23	605.089	5	387.76		14	571.029	
	24	632.73	6	353.7		15	545.091	
			7	322.915		16	519.153	
<u>Scoppio N°3</u>	<u>Posizione: 27.5m</u>	<u>Quota: 9.5m</u>	8	295.274		17	491.119	
	Geofono	Tempo di arrivo	9	267.764		18	473.696	
	1	142.921	10	222.307		19	439.767	
	2	115.28	11	209.338		20	416.973	
	3	94.189	12	183.4		21	381.341	
	4	68.251	13	160.737		22	353.7	
	5	42.313	14	128.249		23	316.365	
	6	8.253	15	100.739		24	293.702	
	7	9.956	16	68.251				

---

**0302282 - ST2 ONDE SH - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

---

Geofono N°	Ascissa	Quota geofono	Velocità strato 1	Profondità strato 2	Velocità strato 2	Profondità strato 3	Velocità strato 3
1	0	9.5	182.05	8.49	188.4		
2	5	9.5	182.04	8.53	188.41		
3	10	9.5	182	8.56	188.68		
4	15	9.5	181.88	8.58	188.88		
5	20	9.5	181.69	8.6	188.92		
6	25	9.5	181.49	8.6	188.92		
7	30	9.5	181.26	8.58	188.76		
8	35	9.5	181.11	8.56	188.61		
9	40	9.5	181.05	8.54	188.38		
10	45	9.5	181.05	8.52	188.05		
11	50	9.5	181.13	8.49	187.84		
12	55	9.5	181.31	8.45	187.88		
13	60	9.5	181.71	8.4	187.78		
14	65	9.5	182.18	8.35	187.64		
15	70	9.5	182.72	8.29	187.5		
16	75	9.5	183.24	8.24	187.35		
17	80	9.5	183.59	8.19	187.21		
18	85	9.5	183.74	8.13	186.96		
19	90	9.5	183.7	8.05	186.54		
20	95	9.5	183.59	7.98	186.13		
21	100	9.5	183.4	7.91	185.73		
22	105	9.5	183.23	7.84	185.34		
23	110	9.5	183.11	7.78	184.97		
24	115	9.5	182.99	7.73	184.61		

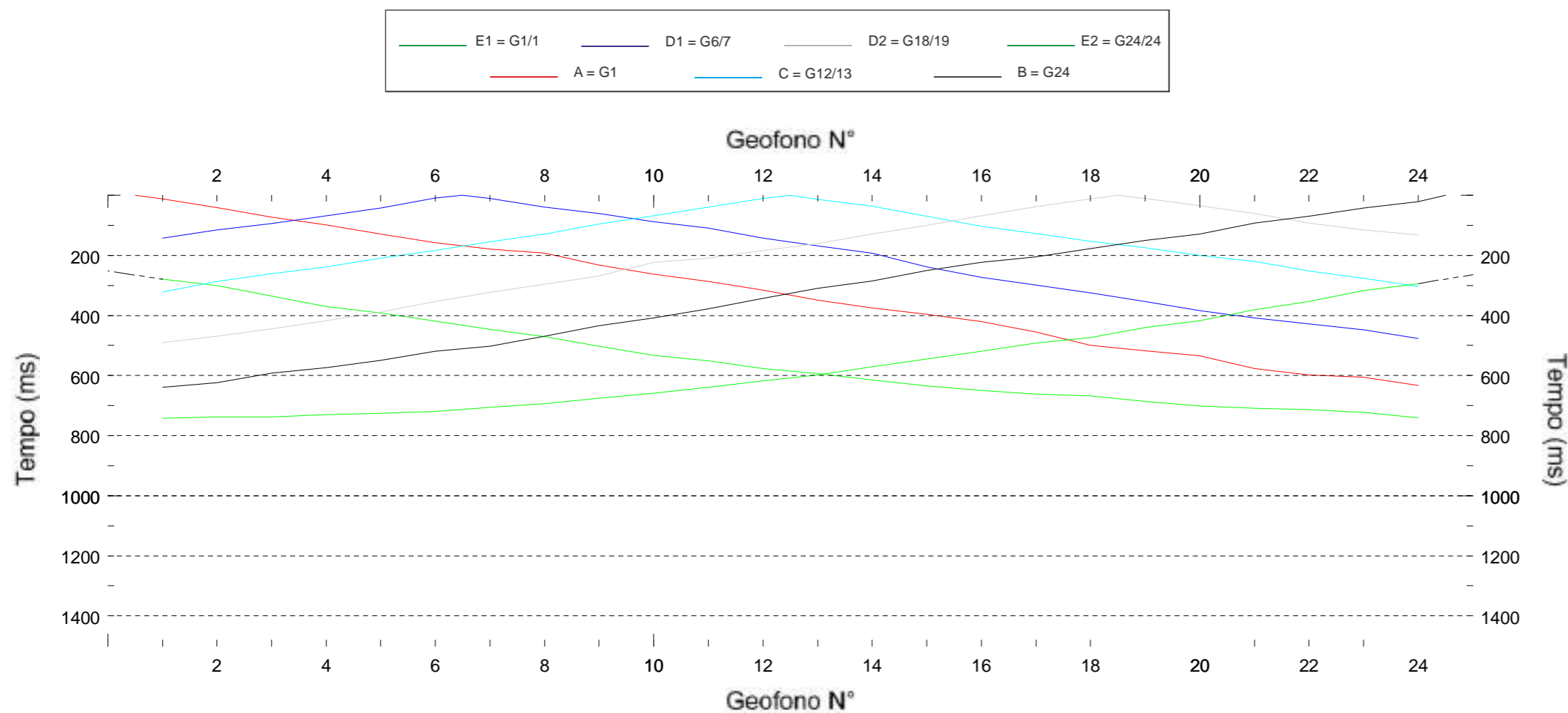




**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozi & C.  
Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
P.iva: 01667250508  
Azienda Certificata ISO 9001:2008  
Tel/Fax 050 9910582  
e-mail info@gaiaservizi.com

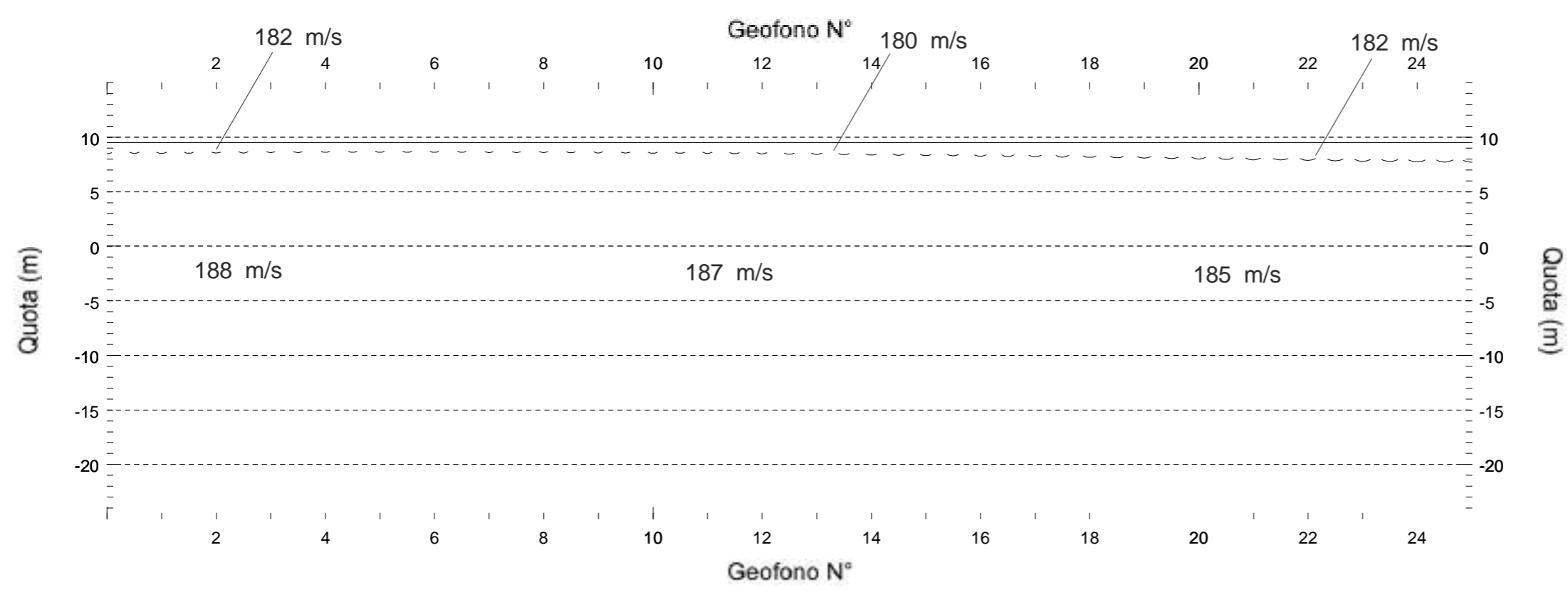


Indagini Geognostiche ed Ambientali



**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s Velocità sismica dello strato



## INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
Località: Fornacette - Case Bianche  
Data: 28/02/2012

Linea: ST2\_SH ID: 1202282



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 29/02/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Maglio da 90 Kg

Linea : ST3

Lunghezza : 120 ml

# 0302291 - ST3 ONDE P - TEMPI DI PROPAGAZIONE

<u>Scoppio N°1</u>	<u>Posizione: -50m</u>	<u>Quota: 10.2m</u>							
	Geofono	Tempo di arrivo	8	11.004	17	14.934			
	1	76.635	9	14.934	18	3.275			
	2	80.827	10	19.519	19	2.62			
	3	84.233	11	25.283	20	14.279			
	4	89.342	12	33.143	21	18.209			
	5	93.665	13	37.597	22	23.973			
	6	96.94	14	42.182	23	29.868			
	7	102.049	15	46.767	24	33.798			
	8	105.455	16	51.876			<u>Scoppio N°6</u>	<u>Posizione: 117.5m</u>	<u>Quota: 10.4m</u>
	9	111.874	17	55.806			Geofono	Tempo di arrivo	
	10	119.996	18	59.736			1	108.337	
	11	121.699	19	64.845			2	105.717	
	12	124.974	20	68.775			3	99.953	
	13	131	21	73.36			4	95.368	
	14	134.406	22	77.159			5	92.093	
	15	140.301	23	83.709			6	86.329	
	16	141.218	24	86.329			7	83.709	
	17	144.493					8	79.124	
	18	148.816	<u>Scoppio N°4</u>	<u>Posizione: 57.5m</u>	<u>Quota: 10.3m</u>		9	77.159	
	19	150.519	Geofono	Tempo di arrivo			10	72.05	
	20	152.222	1	64.19			11	68.775	
	21	157.331	2	59.736			12	62.88	
	22	158.117	3	55.151			13	59.736	
	23	160.737	4	51.221			14	53.186	
	24	159.034	5	46.112			15	49.256	
			6	38.252			16	44.802	
			7	32.488			17	36.418	
<u>Scoppio N°2</u>	<u>Posizione: -2.5m</u>	<u>Quota: 10.2m</u>	8	27.248			18	33.143	
	Geofono	Tempo di arrivo	9	22.139			19	29.868	
	1	0.655	10	16.899			20	26.593	
	2	7.205	11	12.314			21	22.794	
	3	18.864	12	1.31			22	16.244	
	4	23.973	13	1.31			23	10.349	
	5	30.523	14	14.279			24	1.965	
	6	35.108	15	18.209					
	7	39.562	16	21.484			<u>Scoppio N°7</u>	<u>Posizione: 165m</u>	<u>Quota: 10.4m</u>
	8	44.802	17	27.248			Geofono	Tempo di arrivo	
	9	53.186	18	33.798			1	155.628	
	10	55.151	19	39.562			2	155.628	
	11	58.426	20	44.147			3	150.519	
	12	65.5	21	47.422			4	147.113	
	13	70.085	22	51.221			5	145.41	
	14	74.67	23	53.186			6	145.41	
	15	80.434	24	59.474			7	146.327	
	16	83.709					8	142.79	
	17	87.639	<u>Scoppio N°5</u>	<u>Posizione: 87.5m</u>	<u>Quota: 10.4m</u>		9	139.515	
	18	93.403	Geofono	Tempo di arrivo			10	134.406	
	19	97.988	1	92.093			11	131	
	20	100.608	2	88.294			12	127.594	
	21	102.573	3	85.674			13	123.271	
	22	107.682	4	80.434			14	120.782	
	23	111.612	5	76.504			15	118.162	
	24	115.542	6	70.085			16	111.481	
			7	66.155			17	103.752	
			8	61.046			18	100.346	
<u>Scoppio N°3</u>	<u>Posizione: 27.5m</u>	<u>Quota: 10.2m</u>	9	55.151			19	95.368	
	Geofono	Tempo di arrivo	10	51.221			20	86.853	
	1	33.798	11	48.077			21	80.827	
	2	29.213	12	38.907			22	80.041	
	3	24.628	13	32.488			23	77.421	
	4	19.519	14	29.868			24	69.037	
	5	12.314	15	22.794					
	6	2.62	16	18.864					
	7	1.965							

**0302291 - ST3 ONDE P - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

---

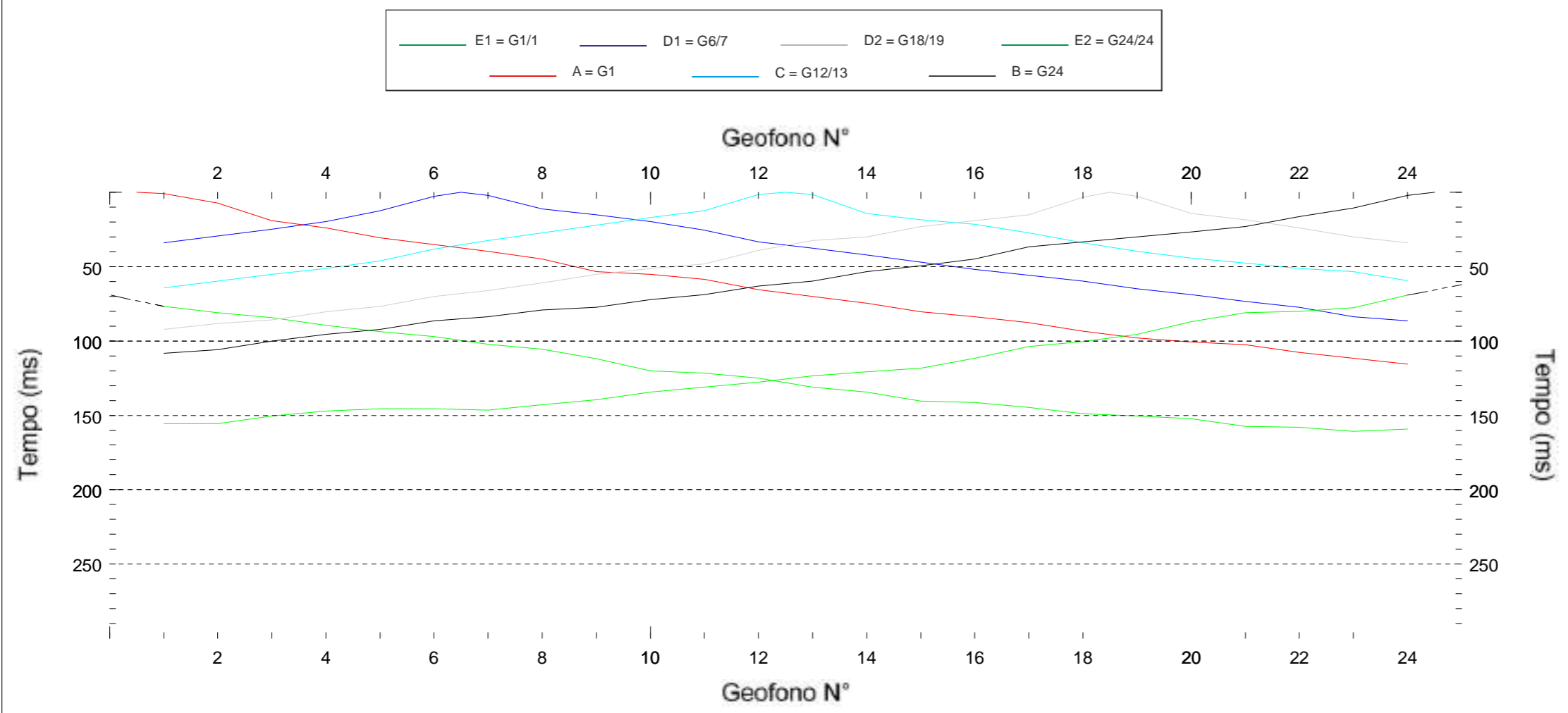
<b>Geofono N°</b>	<b>Ascissa</b>	<b>Quota geofono</b>	<b>Velocità strato 1</b>	<b>Profondità strato 2</b>	<b>Velocità strato 2</b>	<b>Profondità strato 3</b>	<b>Velocità strato 3</b>
1	0	10.2	848.41	2.84	895.92		
2	5	10.2	818.45	4.3	904.14		
3	10	10.2	787.38	5.49	913.51		
4	15	10.2	756.47	6.39	923.97		
5	20	10.2	732.56	7.01	936.23		
6	25	10.2	718.17	7.36	951.36		
7	30	10.2	713.9	7.51	968.11		
8	35	10.3	711.66	7.65	988.17		
9	40	10.3	709.43	7.61	1005.11		
10	45	10.3	707.19	7.54	1020.32		
11	50	10.3	704.95	7.46	1033.12		
12	55	10.3	702.71	7.38	1044.74		
13	60	10.3	700.48	7.33	1055		
14	65	10.4	698.24	7.41	1063.82		
15	70	10.4	696	7.43	1068.48		
16	75	10.4	693.77	7.48	1069.89		
17	80	10.4	691.53	7.55	1065.9		
18	85	10.4	689.29	7.65	1052.42		
19	90	10.4	687.05	7.76	1035.37		
20	95	10.4	684.82	7.9	1016.31		
21	100	10.4	682.66	8.03	998.74		
22	105	10.4	680.9	8.17	980.73		
23	110	10.4	679.57	8.3	963.38		
24	115	10.4	678.66	8.42	946.34		



**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

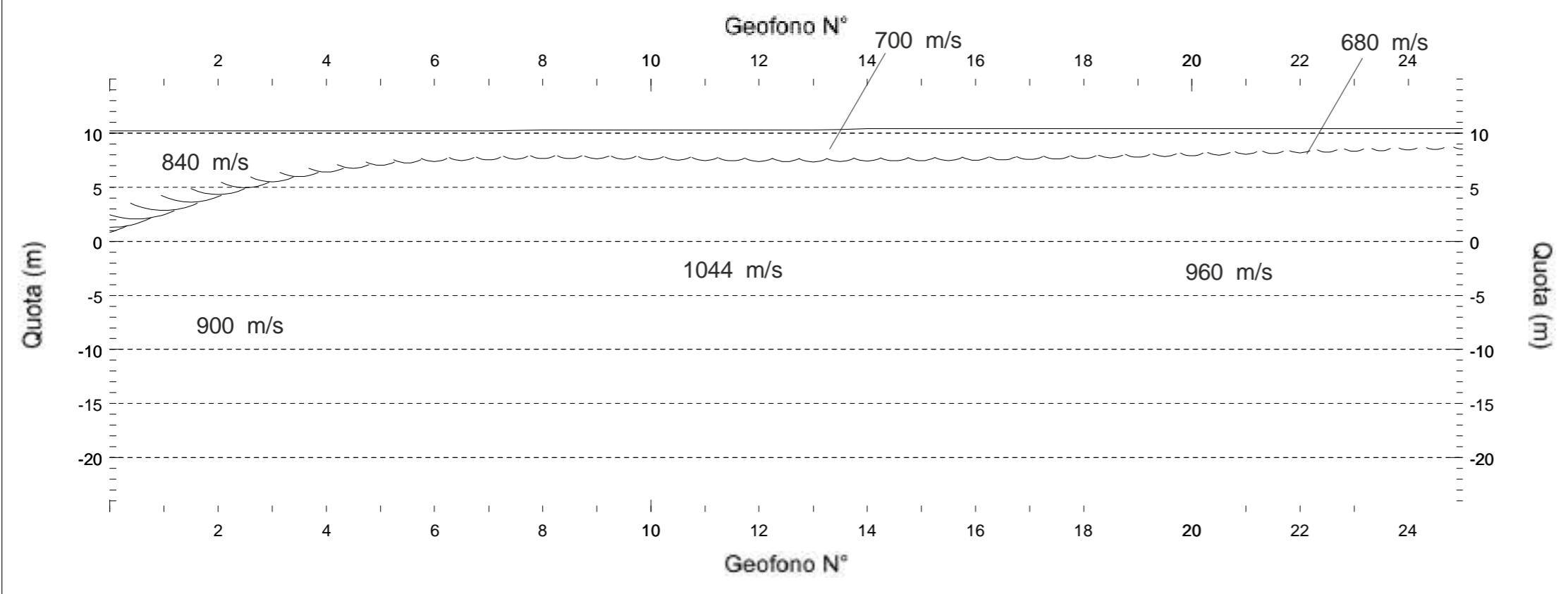


Indagini Geonostiche ed Ambientali



**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s Velocità sismica dello strato



**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: Case Sardina  
 Data: 29/02/2012

Linea: ST3\_P      ID: 1202291



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 29/02/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Mazza da 10 Kg

Linea : ST3

Lunghezza : 120 ml

### 0302292 - ST3 ONDE SH - TEMPI DI PROPAGAZIONE

<u>Scoppio N°1</u>			<u>Scoppio N°2</u>			<u>Scoppio N°3</u>			<u>Scoppio N°4</u>			<u>Scoppio N°5</u>			<u>Scoppio N°6</u>			<u>Scoppio N°7</u>			
<i>Posizione: -50m</i>	<i>Quota: 10.2m</i>		<i>Posizione: -2.5m</i>	<i>Quota: 10.2m</i>		<i>Posizione: 27.5m</i>	<i>Quota: 10.2m</i>		<i>Posizione: 57.5m</i>	<i>Quota: 10.3m</i>		<i>Posizione: 87.5m</i>	<i>Quota: 10.4m</i>		<i>Posizione: 117.5m</i>	<i>Quota: 10.4m</i>		<i>Posizione: 165m</i>	<i>Quota: 10.4m</i>		
Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		Geofono	Tempo di arrivo		
1	244.577		1	11.528		1	136.371		1	304.837		1	454.308		1	608.364		1	818.357		
2	283.484		2	39.038		2	104.014		2	259.642		2	428.37		2	593.823		2	807.746		
3	324.487		3	56.985		3	81.22		3	238.551		3	394.31		3	571.029		3	786.393		
4	340.731		4	73.098		4	61.832		4	219.163		4	368.241		4	540.244		4	775.782		
5	356.975		5	99.036		5	37.466		5	189.95		5	335.884		5	511.031		5	751.023		
6	400.467		6	126.677		6	8.253		6	170.431		6	316.365		6	483.521		6	736.875		
7	435.837		7	159.034		7	9.956		7	147.768		7	293.702		7	452.736		7	694.3		
8	439.374		8	178.553		8	8.253		8	123.402		8	271.039		8	431.645		8	655.393		
9	467.67		9	205.67		9	8.253		9	95.892		9	233.704		9	407.279		9	630.634		
10	492.56		10	222.307		10	9.956		10	80.837		10	214.185		10	378.066		10	588.059		
11	517.319		11	243.398		11	81.22		11	304.837		11	186.675		11	344.006		11	566.837		
12	542.078		12	275.886		12	61.832		12	259.642		12	160.737		12	344.006		12	535.004		
13	559.763		13	318.068		13	61.832		13	238.551		13	134.799		13	376.363		13	514.306		
14	580.985		14	352.128		14	37.466		14	219.163		14	110.433		14	405.707		14	511.031		
15	598.801		15	368.241		15	8.253		15	170.431		15	84.495		15	423.392		15	483.521		
16	620.023		16	399.157		16	8.253		16	147.768		16	60.129		16	431.645		16	452.736		
17	648.319		17	423.392		17	9.956		17	123.402		17	60.129		17	262.917		17	431.645		
18	655.393		18	442.911		18	9.956		18	123.402		18	60.129		18	290.427		18	407.279		
19	676.615		19	470.552		19	9.956		19	95.892		19	60.129		19	318.068		19	378.066		
20	694.3		20	499.765		20	81.22		20	68.251		20	68.251		20	344.006		20	348.853		
21	715.653		21	527.275		21	81.22		21	68.251		21	68.251		21	344.006		21	318.068		
22	726.264		22	538.672		22	61.832		22	68.251		22	68.251		22	376.363		22	296.977		
23	747.486		23	556.226		23	37.466		23	189.95		23	189.95		23	405.707		23	277.458		
24	765.171		24	574.304		24	9.956		24	170.431		24	170.431		24	423.392		24	245.101		
									24	147.768		24	147.768		24	431.645		24	214.185		
									24	123.402		24	123.402		24	431.645		24	193.094		
									24	95.892		24	95.892		24	431.645		24	165.584		
									24	68.251		24	68.251		24	431.645		24	139.646		
									24	40.741		24	40.741		24	431.645		24	115.28		
									24	9.956		24	9.956		24	431.645		24	77.945		
									24	13.1		24	13.1		24	431.645		24	56.985		
									24	39.038		24	39.038		24	431.645		24	35.894		
									24	64.976		24	64.976		24	431.645		24	11.528		
									24	91.045		24	91.045		24	431.645		24			
									24	115.28		24	115.28		24	431.645		24			
									24	139.646		24	139.646		24	431.645		24			
									24	164.012		24	164.012		24	431.645		24			
									24	183.4		24	183.4		24	431.645		24			
									24	209.338		24	209.338		24	431.645		24			
									24	228.857		24	228.857		24	431.645		24			
									24	248.245		24	248.245		24	431.645		24			
									24	259.642		24	259.642		24	431.645		24			

---

**0302292 - ST3 ONDE SH - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

---

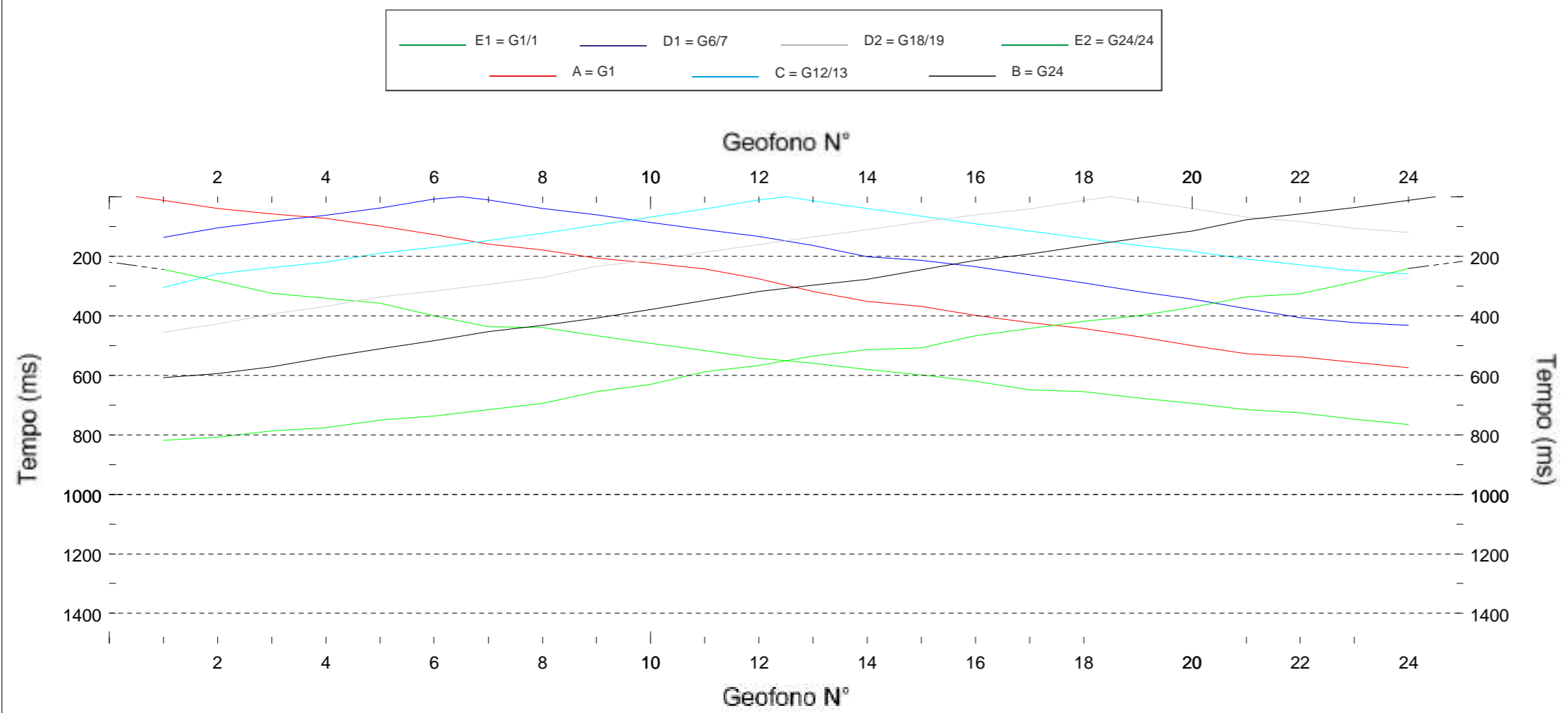
<b>Geofono N°</b>	<b>Ascissa</b>	<b>Quota geofono</b>	<b>Velocità strato 1</b>	<b>Profondità strato 2</b>	<b>Velocità strato 2</b>	<b>Profondità strato 3</b>	<b>Velocità strato 3</b>
1	0	10.2	204.22	3.43	206.86		
2	5	10.2	204.22	3.43	206.86		
3	10	10.2	204.22	3.41	207.97		
4	15	10.2	204.26	3.33	208.98		
5	20	10.2	204.13	3.16	209.78		
6	25	10.2	203.08	2.91	209.58		
7	30	10.2	202.23	2.61	209.63		
8	35	10.3	201.12	2.42	209.69		
9	40	10.3	200.17	2.12	212.74		
10	45	10.3	199	1.83	215.79		
11	50	10.3	199.05	1.53	218.84		
12	55	10.3	199.32	1.24	221.89		
13	60	10.3	199.43	0.95	224.91		
14	65	10.4	199.26	0.82	227.86		
15	70	10.4	199.79	0.67	231.06		
16	75	10.4	200.11	0.61	233.14		
17	80	10.4	200.45	0.61	233.14		
18	85	10.4	199.66	0.61	233.14		
19	90	10.4	198.92	0.61	233.14		
20	95	10.4	198.9	0.61	233.14		
21	100	10.4	198.84	0.61	233.14		
22	105	10.4	198.77	0.61	233.14		
23	110	10.4	199.59	0.61	233.14		
24	115	10.4	200.86	0.61	233.14		





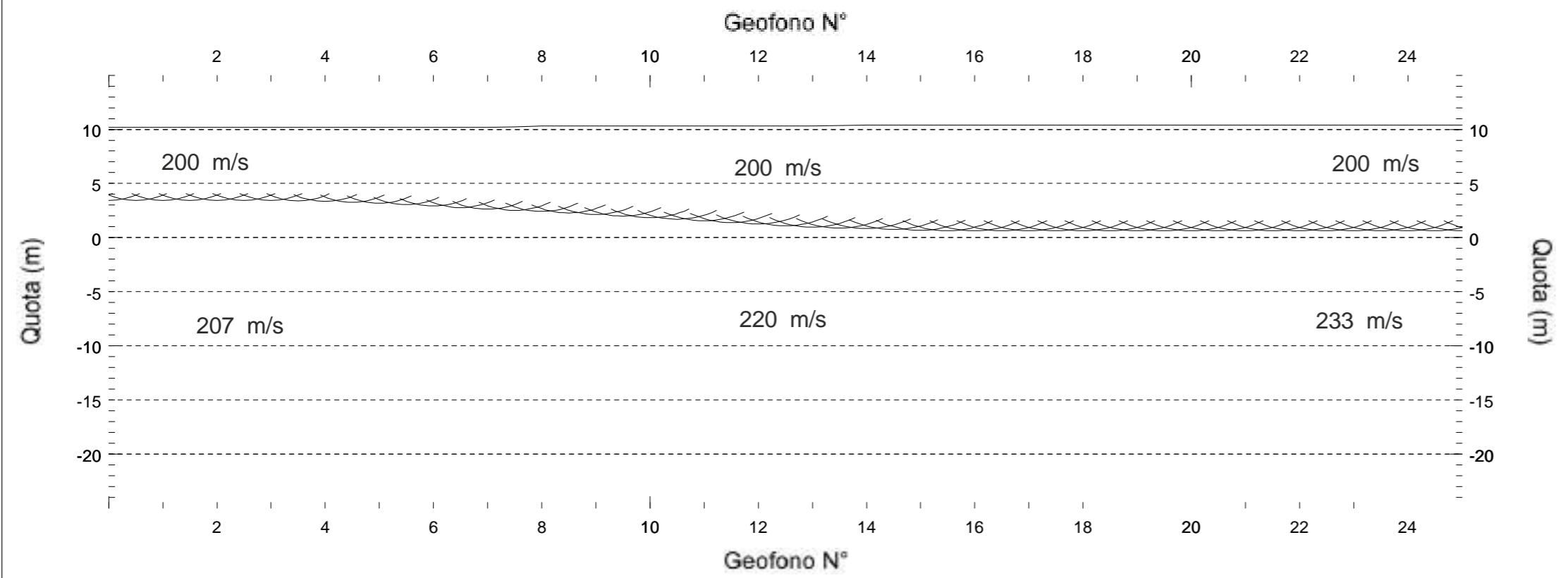
**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geognostiche ed Ambientali



**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s Velocità sismica dello strato



**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: Case Sardina  
 Data: 29/02/2012

Linea: ST3\_SH ID: 1202292



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 05/03/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Maglio da 90 Kg

Linea : ST4

Lunghezza : 120 ml

**0303051 - ST4 ONDE P - TEMPI DI PROPAGAZIONE**

<u>Scoppio N°1</u>	<u>Posizione: -50m</u>	<u>Quota: 12.3m</u>					
	Geofono	Tempo di arrivo	8	29.213	17	25.807	
	1	89.735	9	44.933	18	10.218	
	2	93.796	10	53.055	19	8.253	
	3	93.796	11	63.928	20	20.436	
	4	99.953	12	64.583	21	34.715	
	5	104.014	13	69.299	22	50.959	
	6	104.669	14	75.456	23	59.867	
	7	110.171	15	79.517	24	67.334	
	8	115.542	16	85.674			
	9	115.542	17	86.984	<u>Scoppio N°6</u>	<u>Posizione: 117.5m</u>	
	10	119.603	18	93.796	Geofono	<u>Quota: 11.2m</u>	
	11	125.105	19	95.106	1	125.891	
	12	127.725	20	97.202	2	123.271	
	13	131.131	21	101.263	3	118.293	
	14	133.227	22	103.752	4	116.197	
	15	135.192	23	105.979	5	112.922	
	16	140.039	24	110.957	6	110.826	
	17	141.349			7	109.385	
	18	146.065	<u>Scoppio N°4</u>	<u>Posizione: 57.5m</u>	<u>Quota: 11.8m</u>	8	108.075
	19	150.912	Geofono	Tempo di arrivo		9	104.669
	20	152.222	1	89.735		10	99.167
	21	154.318	2	83.578		11	96.547
	22	160.999	3	80.172		12	93.141
	23	161.785	4	78.207		13	90.39
	24	165.846	5	71.395		14	85.674
			6	71.395		15	83.578
			7	67.334		16	82.268
<u>Scoppio N°2</u>	<u>Posizione: -2.5m</u>	<u>Quota: 12.3m</u>	8	65.238		17	78.207
	Geofono	Tempo di arrivo	9	59.081		18	74.146
	1	9.563	10	42.182		19	70.085
	2	28.558	11	26.593		20	65.238
	3	46.243	12	12.314		21	54.365
	4	57.116	13	9.563		22	38.776
	5	61.177	14	30.654		23	22.401
	6	67.334	15	43.492		24	6.157
	7	70.74	16	56.461			
	8	76.111	17	66.155	<u>Scoppio N°7</u>	<u>Posizione: 165m</u>	<u>Quota: 11.2m</u>
	9	81.613	18	68.775	Geofono	Tempo di arrivo	
	10	82.923	19	73.36	1	159.689	
	11	86.329	20	76.111	2	158.379	
	12	92.486	21	80.172	3	154.973	
	13	96.547	22	86.984	4	152.222	
	14	98.512	23	86.984	5	151.567	
	15	102.573	24	91.438	6	152.222	
	16	106.765			7	148.816	
	17	110.171	<u>Scoppio N°5</u>	<u>Posizione: 87.5m</u>	<u>Quota: 11.5m</u>	8	145.41
	18	115.542	Geofono	Tempo di arrivo		9	145.41
	19	118.948	1	109.647		10	137.943
	20	119.603	2	106.372		11	135.978
	21	123.009	3	101.263		12	132.572
	22	124.581	4	97.988		13	130.476
	23	125.105	5	94.451		14	127.07
	24	129.821	6	91.045		15	123.664
			7	87.639		16	120.913
<u>Scoppio N°3</u>	<u>Posizione: 27.5m</u>	<u>Quota: 12m</u>	8	85.674		17	118.293
	Geofono	Tempo di arrivo	9	82.923		18	114.232
	1	70.085	10	80.172		19	108.73
	2	63.273	11	75.456		20	103.359
	3	52.4	12	72.705		21	101.263
	4	40.741	13	67.334		22	96.547
	5	25.152	14	62.487		23	97.857
	6	14.934	15	55.806		24	95.892
	7	16.375	16	43.492			

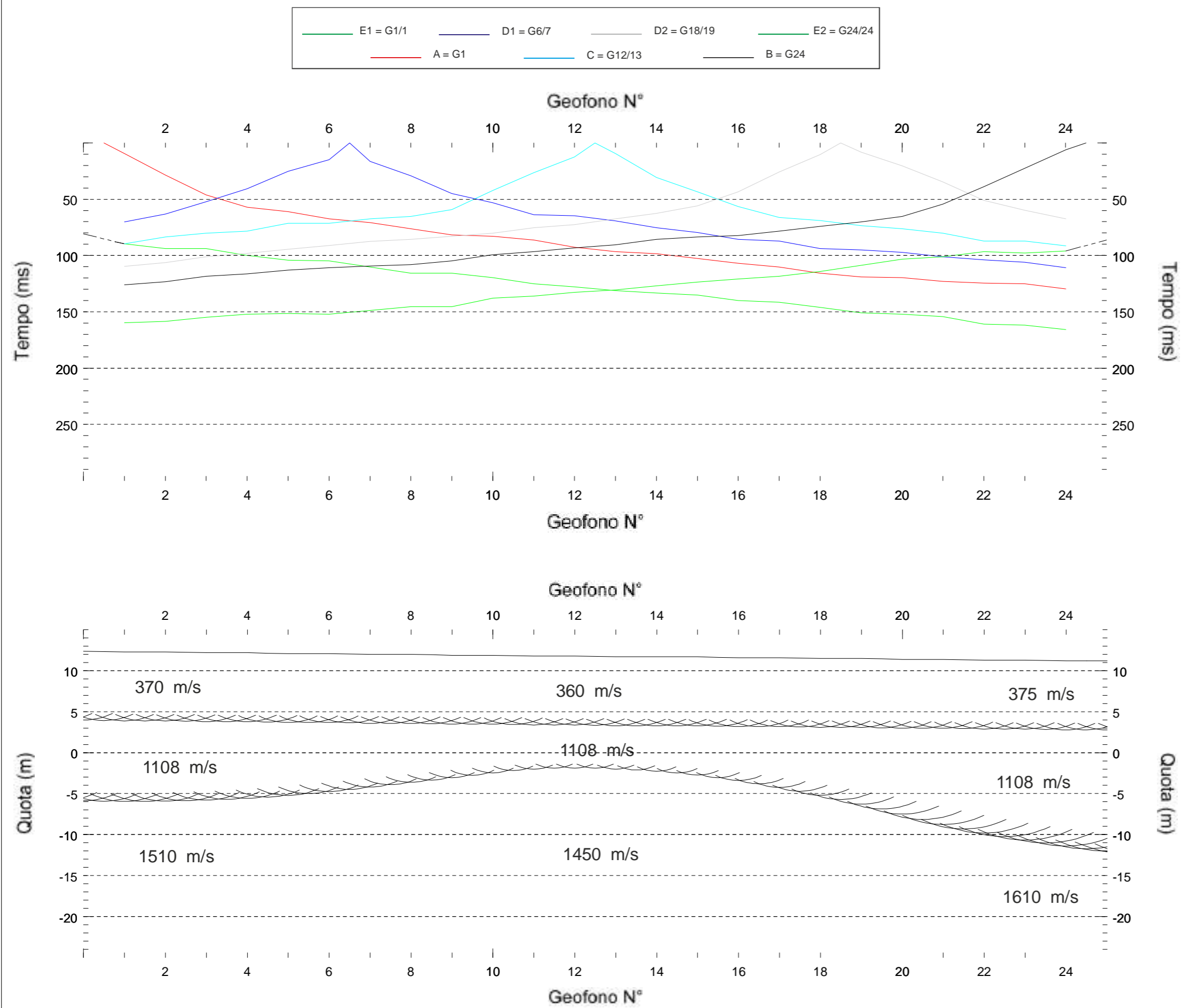
**0303051 - ST4 ONDE P - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

Geofono N°	Ascissa	Quota geofono	Velocità strato 1	Profondità strato 2	Velocità strato 2	Profondità strato 3	Velocità strato 3
1	0	12.3	370.39	3.87	1108.64	-5.95	1512.72
2	5	12.3	373.18	3.87	1108.64	-5.92	1505.78
3	10	12.2	377.55	3.77	1108.64	-5.79	1494.34
4	15	12.2	381.89	3.77	1108.64	-5.58	1481.25
5	20	12.1	384.16	3.67	1108.64	-5.24	1472.76
6	25	12.1	381.53	3.67	1108.64	-4.76	1459.63
7	30	12	374.69	3.57	1108.64	-4.21	1453.95
8	35	12	371.18	3.57	1108.64	-3.63	1455.88
9	40	11.9	368.98	3.47	1108.64	-3.05	1455.95
10	45	11.9	363.1	3.47	1108.64	-2.47	1454.27
11	50	11.8	361.85	3.37	1108.64	-2.03	1450.24
12	55	11.8	360.07	3.37	1108.64	-1.89	1450
13	60	11.7	361.91	3.27	1108.64	-2	1450.87
14	65	11.7	360.74	3.27	1108.64	-2.29	1448.92
15	70	11.7	362.33	3.27	1108.64	-2.75	1442.04
16	75	11.6	366.9	3.17	1108.64	-3.41	1472.09
17	80	11.6	371.94	3.17	1108.64	-4.24	1509.64
18	85	11.5	373.96	3.07	1108.64	-5.21	1530.08
19	90	11.5	375.43	3.07	1108.64	-6.28	1535.41
20	95	11.4	375.47	2.97	1108.64	-7.51	1546.71
21	100	11.4	375.54	2.97	1108.64	-8.77	1560.83
22	105	11.3	375.57	2.87	1108.64	-9.82	1578.26
23	110	11.3	374.6	2.87	1108.84	-10.67	1596.04
24	115	11.2	373.73	2.77	1109.22	-11.41	1612.76



**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geognostiche ed Ambientali



E1 = G1/1    D1 = G6/7    D2 = G18/19    E2 = G24/24  
 A = G1    C = G12/13    B = G24

**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s    Velocità sismica dello strato

**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: La Botte  
 Data: 05/03/2012

Linea: ST4\_P

ID: 1203051



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 05/03/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Mazza da 10 Kg

Linea : ST4

Lunghezza : 120 ml



---

**0303052 - ST4 ONDE SH - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

---

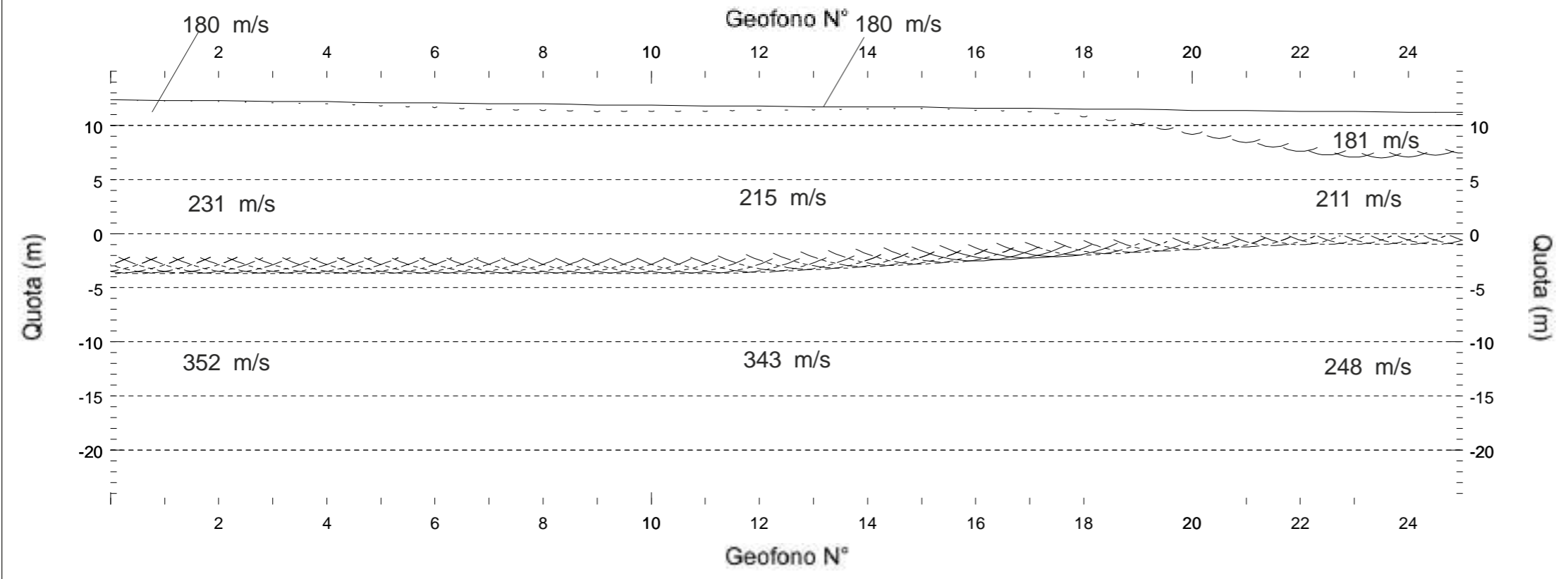
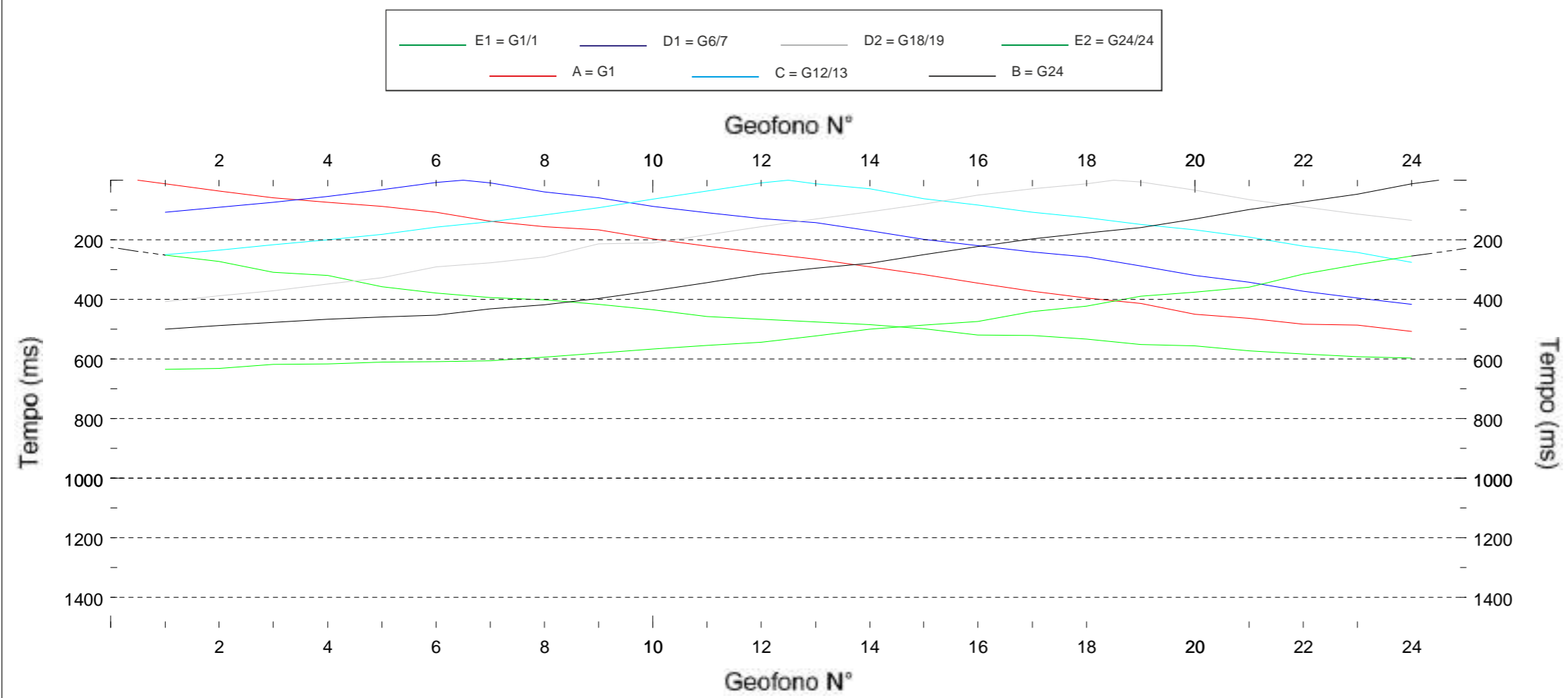
Geofono N°	Ascissa	Quota geofono	Velocità strato 1	Profondità strato 2	Velocità strato 2	Profondità strato 3	Velocità strato 3
1	0	12.3	180.82	12.24	231.44	-3.7	351.78
2	5	12.3	180.82	12.21	231.44	-3.7	351.78
3	10	12.2	180.82	12.06	231.39	-3.7	351.78
4	15	12.2	180.82	11.97	231.03	-3.7	351.78
5	20	12.1	180.82	11.77	230.48	-3.7	351.78
6	25	12.1	180.82	11.64	229.55	-3.7	351.78
7	30	12	180.82	11.44	228.09	-3.7	351.78
8	35	12	180.82	11.36	226.47	-3.7	351.78
9	40	11.9	180.82	11.26	224.09	-3.7	351.78
10	45	11.9	180.82	11.28	221.3	-3.7	351.78
11	50	11.8	180.82	11.28	218.51	-3.7	351.78
12	55	11.8	180.82	11.39	216.08	-3.59	343.35
13	60	11.7	180.82	11.41	213.35	-3.33	333.26
14	65	11.7	180.82	11.5	211.2	-3.07	323.18
15	70	11.7	180.82	11.54	209.5	-2.81	313.09
16	75	11.6	180.82	11.38	209.02	-2.54	303
17	80	11.6	180.82	11.23	208.51	-2.28	292.91
18	85	11.5	180.82	10.77	207.55	-2.01	282.82
19	90	11.5	180.82	10.05	206.55	-1.75	272.74
20	95	11.4	180.82	9.17	207.65	-1.49	262.65
21	100	11.4	180.81	8.42	212.14	-1.22	252.56
22	105	11.3	181.08	7.59	211.75	-1.03	248.38
23	110	11.3	181.41	7.05	211.41	-0.99	248.38
24	115	11.2	181.73	7.08	211.57	-0.99	248.38





**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geostatiche ed Ambientali



**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s      Velocità sismica dello strato

**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: La Botte  
 Data: 05/03/2012

Linea: ST4\_SH      ID: 1203052



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE P**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 08/03/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Maglio da 90 Kg

Linea : ST5

Lunghezza : 120 ml



---

**ST5 ONDE P - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

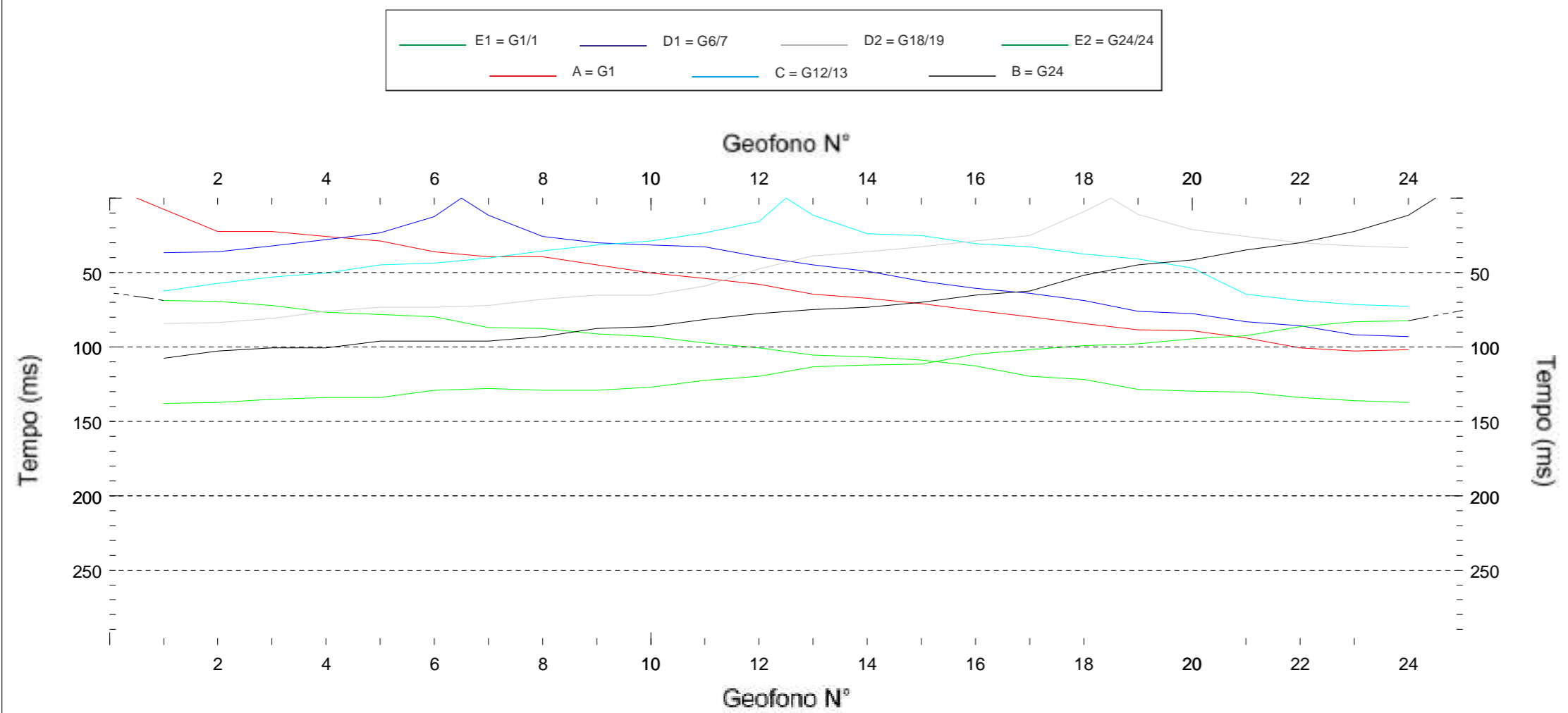
---

Geofono N°	Ascissa	Quota geofono	Velocità strato 1	Profondità strato 2	Velocità strato 2	Profondità strato 3	Velocità strato 3
1	0	11.6	520.18	11.19	1107.77	-2.74	1440.68
2	5	11.6	517.24	10.9	1107.77	-2.6	1441.56
3	10	11.6	515.13	10.53	1107.77	-2.53	1437.59
4	15	11.6	511.36	10.1	1107.77	-2.58	1439.08
5	20	11.6	501.15	9.67	1107.77	-2.75	1462.47
6	25	11.6	494.93	9.25	1107.77	-2.99	1494.55
7	30	11.6	494.31	8.82	1107.77	-3.31	1542.75
8	35	11.6	493.87	8.4	1107.77	-3.76	1614.55
9	40	11.6	496.4	8.02	1102.44	-4.35	1711.72
10	45	11.6	501.65	7.71	1094.68	-5.02	1744.2
11	50	11.6	510.25	7.45	1082.83	-5.76	1753.69
12	55	11.6	517.62	7.3	1073.6	-6.56	1770.09
13	60	11.6	522.44	7.24	1066.42	-7.34	1801.74
14	65	11.6	525.98	7.24	1044.65	-8.03	1834.29
15	70	11.6	528.89	7.26	1023.55	-8.62	1854.18
16	75	11.6	528.41	7.32	1007.01	-9.18	1897.21
17	80	11.6	525.98	7.37	997.55	-9.75	1938.93
18	85	11.6	523.08	7.39	977.96	-10.28	1942.12
19	90	11.6	520.05	7.41	979.63	-10.72	1907.87
20	95	11.6	516.21	7.42	969.89	-11.08	1893.56
21	100	11.6	512.89	7.43	966.36	-11.35	1884.47
22	105	11.6	508.86	7.48	966.19	-11.42	1889.95
23	110	11.6	505.37	7.54	961.79	-11.33	1883.09
24	115	11.6	502.41	7.62	947.44	-11.16	1873.66



**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

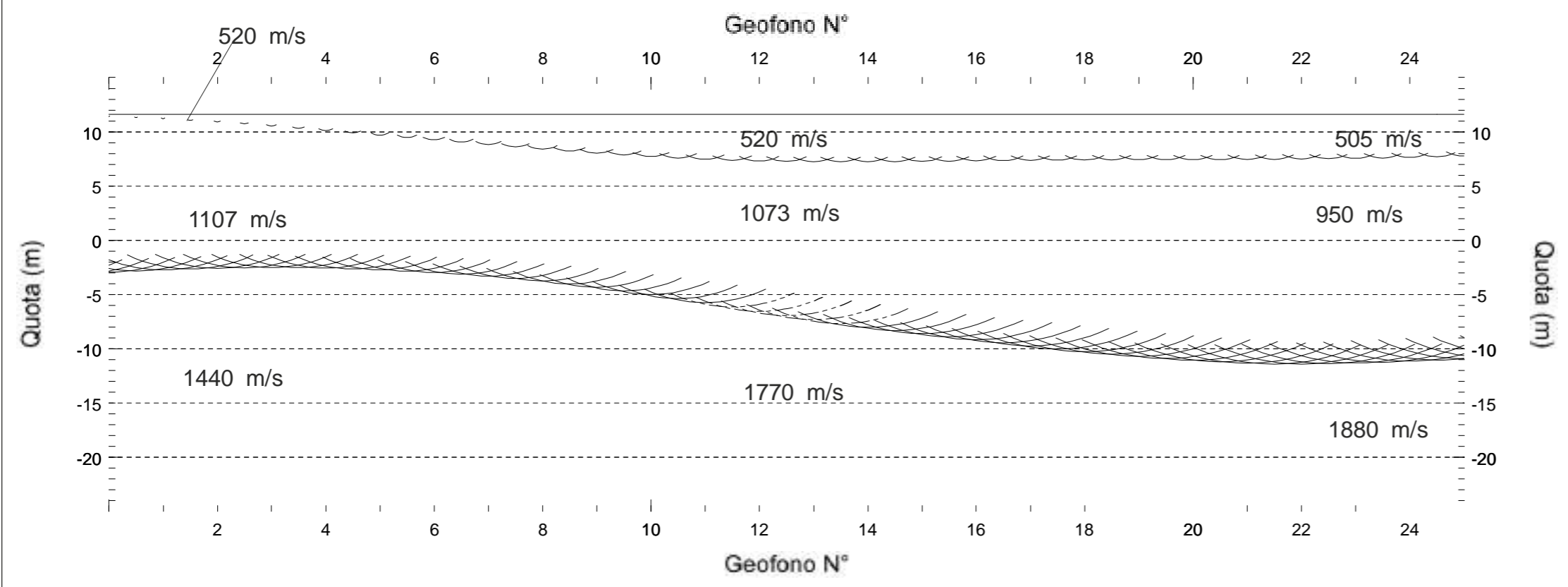
Indagini Geognostiche ed Ambientali



E1 = G1/1    D1 = G6/7    D2 = G18/19    E2 = G24/24  
 A = G1    C = G12/13    B = G24

**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s Velocità sismica dello strato



**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: Capoluogo  
 Data: 08/03/2012

Linea: ST5\_P    ID: 1203081



## **PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE CON ONDE SH**

### ***TEMPI DI PROPAGAZIONE, PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE CALCOLATE PER I RIFRATTORI INDIVIDUATI***

Committente : Amministrazione comunale di Calcinaia

Data : 08/03/2012

Sismografo : AMBROGEO Echo 24/2002 a 16 bit

Sorgente : Mazza da 10 Kg

Linea : ST5

Lunghezza : 120 ml



**0303082 - ST5 ONDE SH - PROFONDITA' E VELOCITA' SISMICHE**

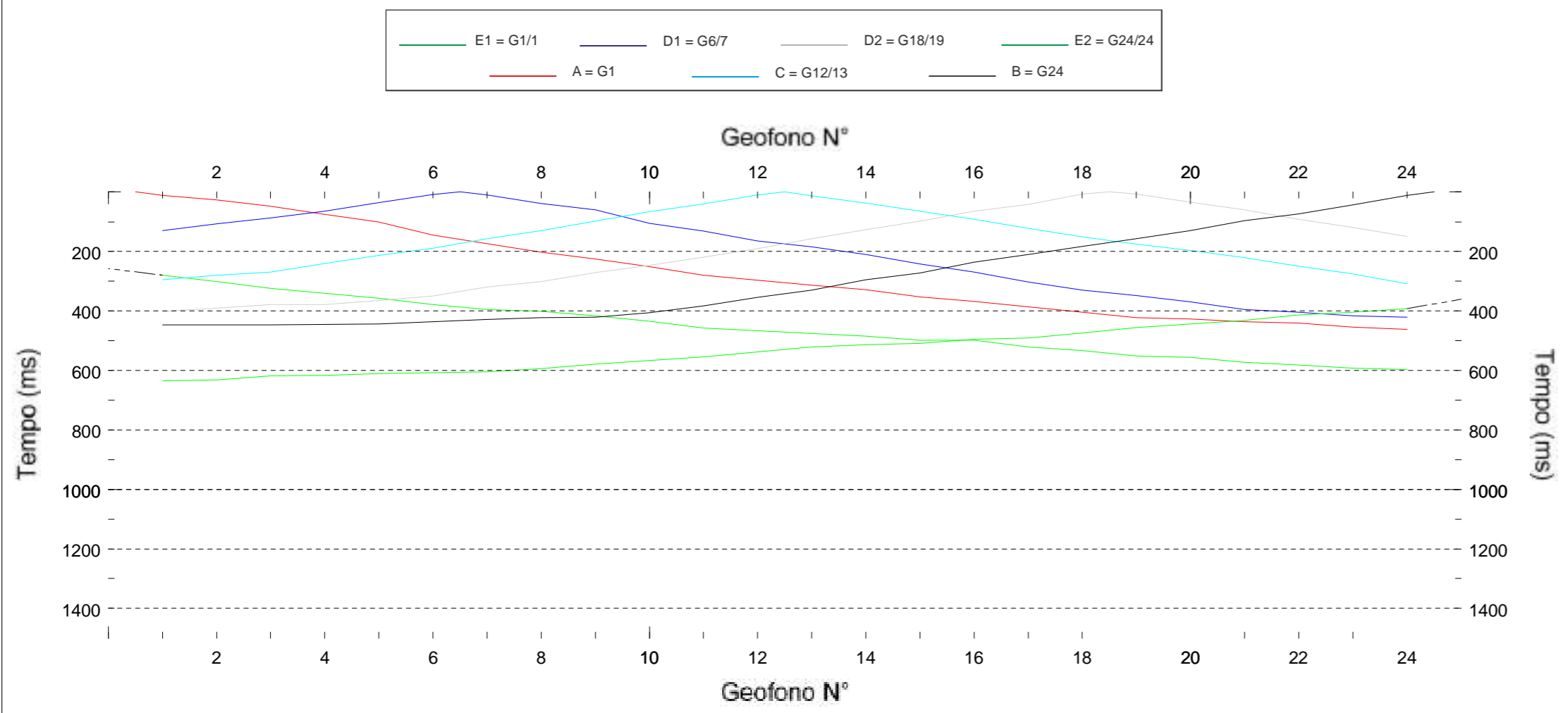
<b>Geofono N°</b>	<b>Ascissa</b>	<b>Quota geofono</b>	<b>Velocità strato 1</b>	<b>Profondità strato 2</b>	<b>Velocità strato 2</b>	<b>Profondità strato 3</b>	<b>Velocità strato 3</b>
1	0	11.6	180	10.99	236.09	-10.51	393.72
2	5	11.6	180	11.28	228.94	-10.38	402.86
3	10	11.6	180	11.37	221.68	-10.23	409.96
4	15	11.6	180	11.21	215.42	-10.04	416.24
5	20	11.6	180	10.87	209.13	-9.8	423.47
6	25	11.6	180	10.66	203.79	-9.48	427.9
7	30	11.6	180	10.35	200.23	-9.05	433.39
8	35	11.6	179.87	10.22	198.67	-8.49	432.78
9	40	11.6	179.19	9.9	199.22	-7.82	426.62
10	45	11.6	178.3	9.7	199.6	-7.08	417.77
11	50	11.6	177.64	9.45	199.6	-6.42	406.48
12	55	11.6	177.21	9.49	197.61	-5.86	390.19
13	60	11.6	177.22	9.35	195.05	-5.4	371.73
14	65	11.6	177.67	9.91	192.57	-5.15	359.44
15	70	11.6	178.23	10.43	190.94	-5.19	355.82
16	75	11.6	178.62	10.89	192.38	-5.52	358.66
17	80	11.6	178.54	10.59	195.95	-6.12	352.45
18	85	11.6	178.17	10.27	197.85	-7.04	350.83
19	90	11.6	177.83	9.85	205.18	-8.23	365.36
20	95	11.6	177.76	9.71	211.11	-9.53	377.83
21	100	11.6	178.04	9.31	211.35	-10.72	389.51
22	105	11.6	178.81	8.98	206.91	-11.79	402.84
23	110	11.6	179.72	9.23	204.68	-12.8	417.35
24	115	11.6	180.48	8.81	197.54	-13.67	431.45





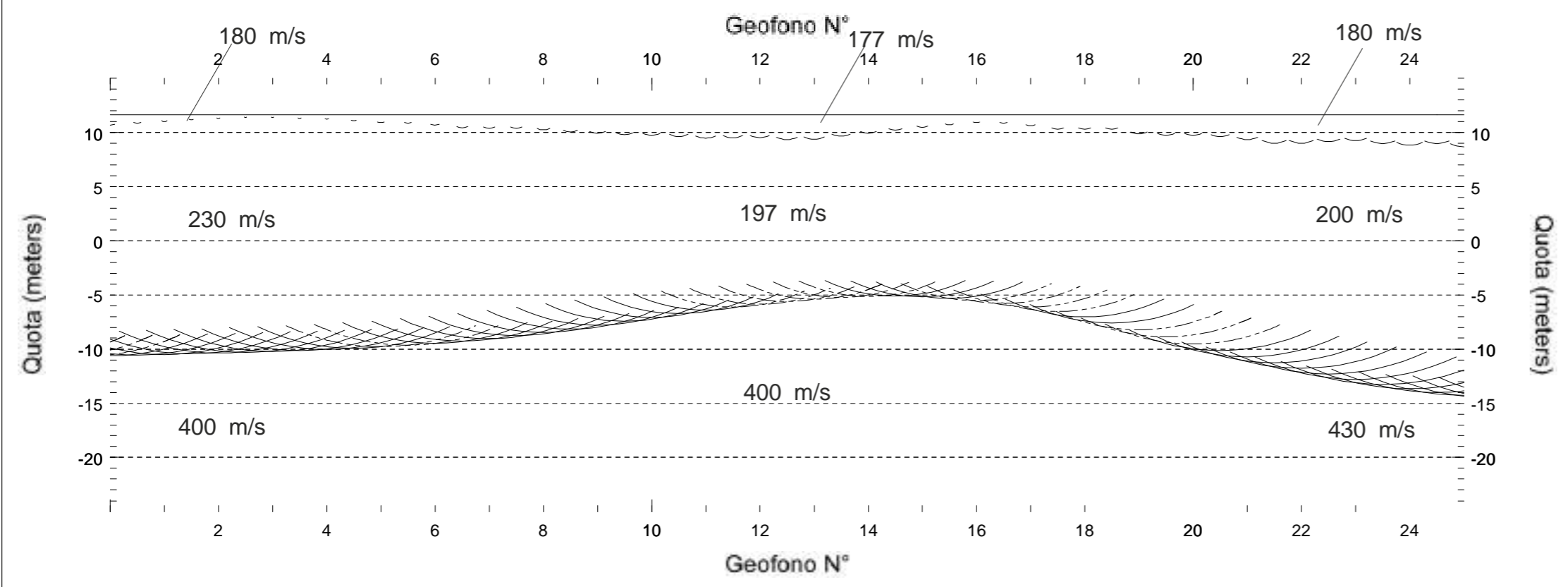
**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geognostiche ed Ambientali



**LEGENDA**

- Tempi dei primi arrivi ai geofoni
- Profilo topografico
- Distanza dalla superficie topografica del limite di strato
- 1100 m/s Velocità sismica dello strato



**INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH**

Comm: Amm. Com. di Calcinaia  
 Località: Capoluogo  
 Data: 08/03/2012

Linea: ST5\_SH ID: 1203082



Azienda Certificata  
ISO 9001:2008 N. IT12/0149  
"Progettazione ed esecuzione di indagini geotecniche e  
geofisiche, ambientali, idrometriche"



**PROVINCIA DI PISA  
COMUNE DI CALCINAIA**

**INDAGINI GEOFISICHE**

**STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1**

**ALLEGATO 6**

**SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE  
INTERPRETATIVE  
SISMICA A RIFRAZIONE**

---

**GAIA Servizi S.n.c.**

Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)  
Tel./Fax: 050 9910582 e-mail: info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508



**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com



Indagini Geognostiche ed Ambientali

**AMMINISTRAZIONE COMUNALE  
 DI CALCINAIA**

**PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE  
 CON ONDE P ED SH**

**SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA**

Basi sismiche: **ST1 - 1202271 (onde P);**  
**ST1 - 1202272 (onde SH)**

Località: **Saletta**

Data: **27/02/2012**

**LEGENDA**

**250 m/s** Velocità sismica onde P in metri al secondo

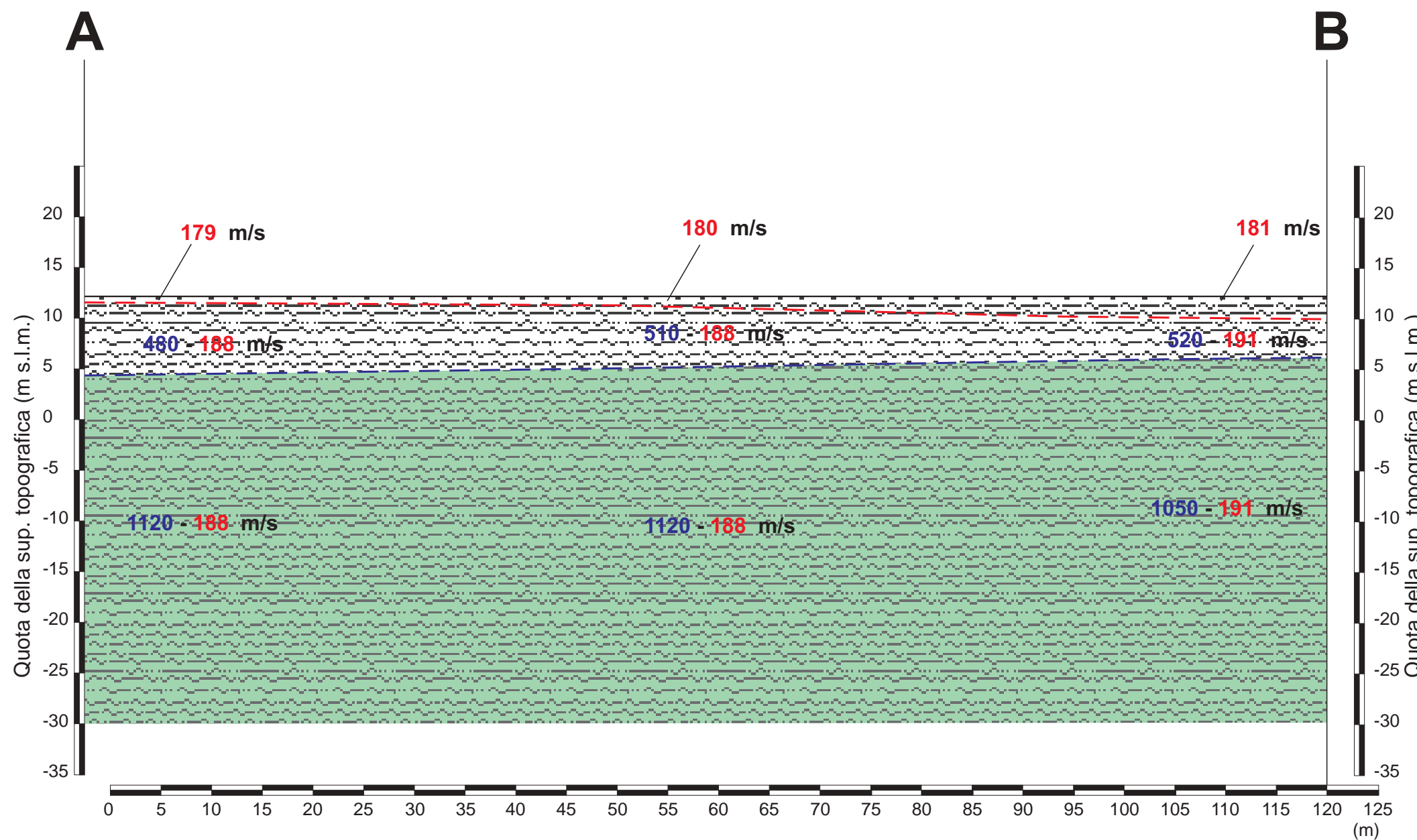
**250 m/s** Velocità sismica onde SH in metri al secondo

Limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose, sabbie da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera

Limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose, sabbie più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante

Andamento del rifrattore secondo le onde SH

Andamento del rifrattore secondo le onde P



**ST1**

**Scala 1/500**



**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozi & C.  
Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
P.iva: 01667250508  
Azienda Certificata ISO 9001:2008  
Tel/Fax 050 9910582  
e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geognostiche ed Ambientali



## AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

### PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH

#### SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA

Basi sismiche: **ST2 - 1202281 (onde P);**  
**ST2 - 1202282 (onde SH)**


Località: **Fornacette - Case Bianche**

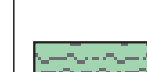
Data: **28/02/2012**

#### LEGENDA

**250 m/s** Velocità sismica onde P in metri al secondo

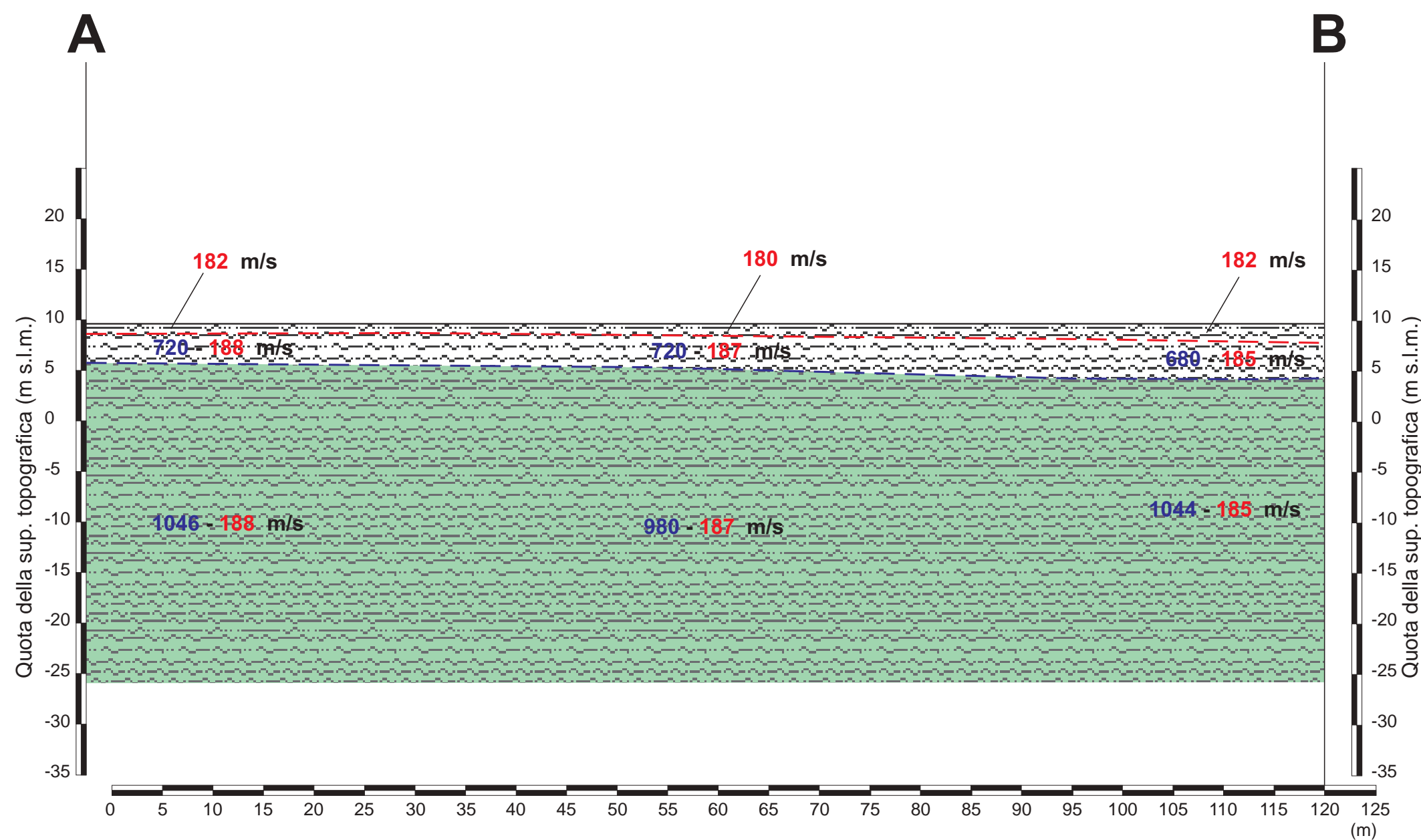
**250 m/s** Velocità sismica onde SH in metri al secondo

 Limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose, sabbie da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera

 Limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose, sabbie più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante

 Andamento del rifrattore secondo le onde SH

 Andamento del rifrattore secondo le onde P



**ST2**

**Scala 1/500**



**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozzi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geognostiche ed Ambientali



**AMMINISTRAZIONE COMUNALE  
 DI CALCINAIA**

**PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE  
 CON ONDE P ED SH**


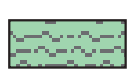


**SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA**

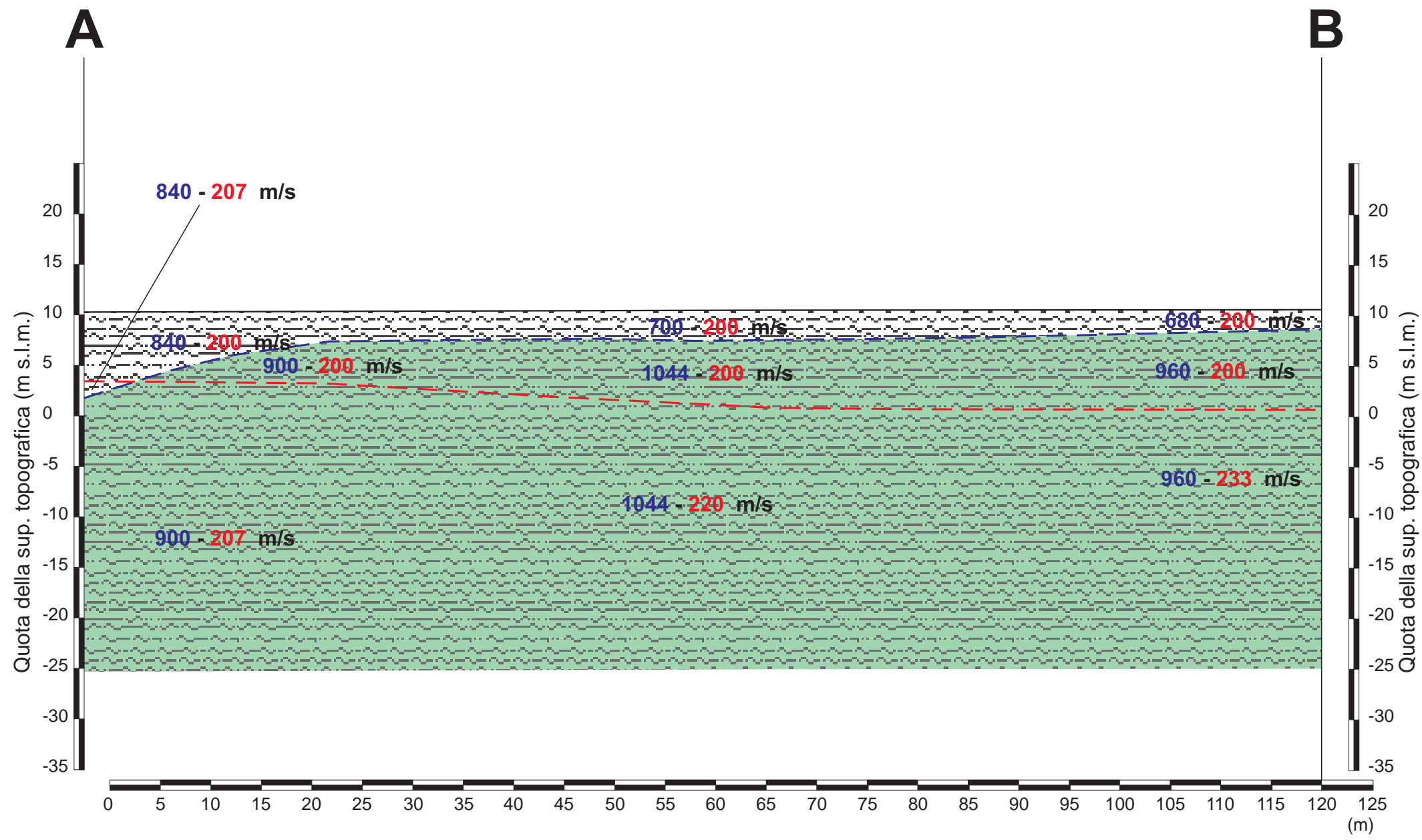
Basi sismiche: **ST3 - 1202291 (onde P);**  
**ST3 - 1202292 (onde SH)**

Località: **Case Sardina**

Data: **29/02/2012**

**LEGENDA**

- 250 m/s** Velocità sismica onde P in metri al secondo
- 207 m/s** Velocità sismica onde SH in metri al secondo
-  Limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose, sabbie da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera
-  Limi sabbiosi, argille limose, sabbie limose, sabbie più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante
-  Andamento del rifrattore secondo le onde SH
-  Andamento del rifrattore secondo le onde P



**ST3**

**Scala 1/500**



**GAIA Servizi S.n.c.**  
 di Massimiliano Vannozi & C.  
 Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
 P.iva: 01667250508  
 Azienda Certificata ISO 9001:2008  
 Tel/Fax 050 9910582  
 e-mail info@gaiaservizi.com



Indagini Geognostiche ed Ambientali

**AMMINISTRAZIONE COMUNALE  
 DI CALCINAIA**

**PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE  
 CON ONDE P ED SH**

**SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA**

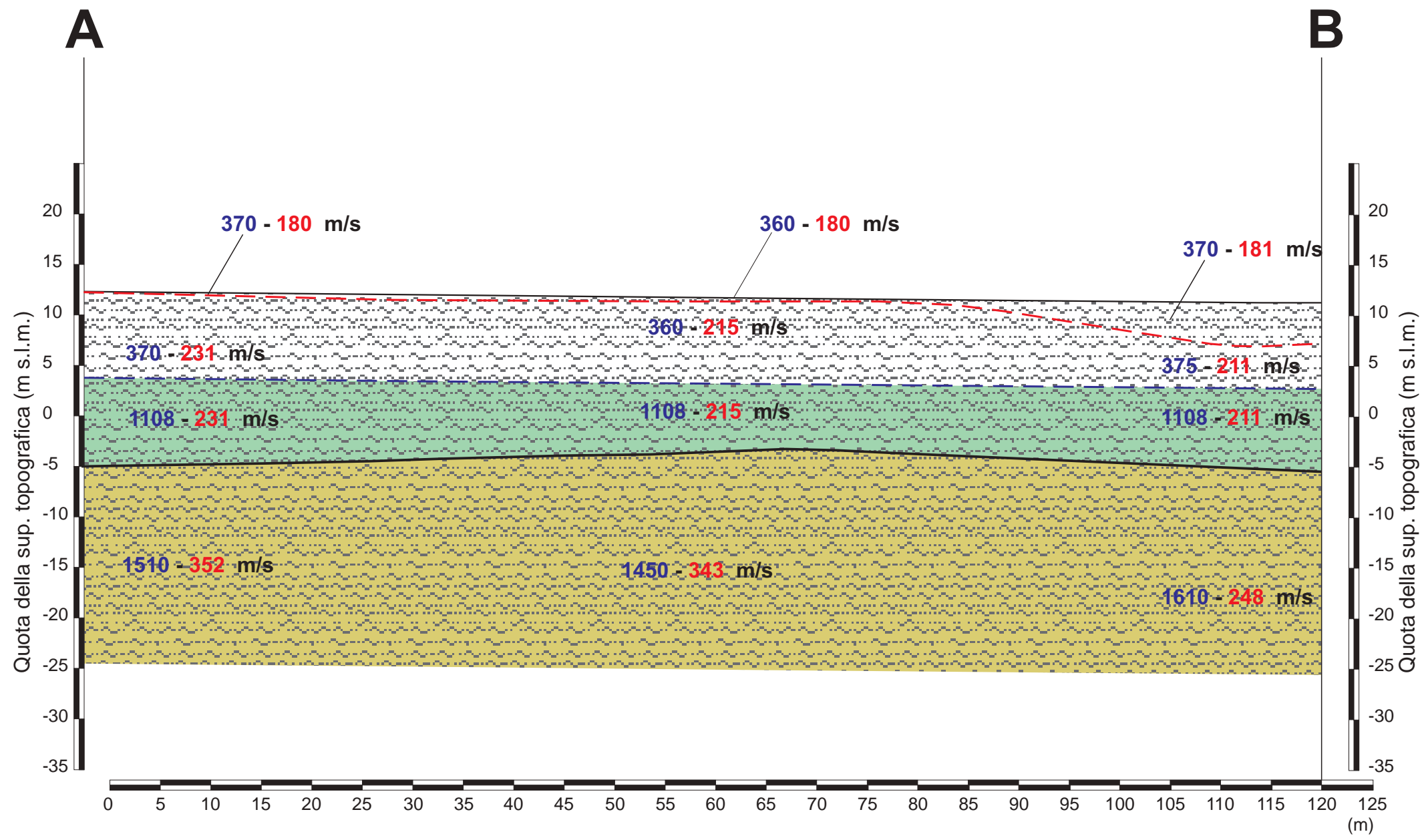
Basi sismiche: **ST4 - 1203051 (onde P);**  
**ST4 - 1203052 (onde SH)**

Località: **La Botte**

Data: **05/03/2012**

**LEGENDA**

- 250 m/s** Velocità sismica onde P in metri al secondo
- 250 m/s** Velocità sismica onde SH in metri al secondo
- Limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera
- Limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante
- Limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie da mediamente a molto addensati-compatti presumibilmente sotto falda
- Andamento del rifrattore secondo le onde SH
- Andamento del rifrattore secondo le onde P



**ST4**

**Scala 1/500**



**GAIA Servizi S.n.c.**  
di Massimiliano Vannozi & C.  
Via Lenin, 132 - S. Giuliano T. (PI)  
P.iva: 01667250508  
Azienda Certificata ISO 9001:2008  
Tel/Fax 050 9910582  
e-mail info@gaiaservizi.com

Indagini Geognostiche ed Ambientali



## AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI CALCINAIA

### PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE CON ONDE P ED SH

#### SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA INTERPRETATIVA

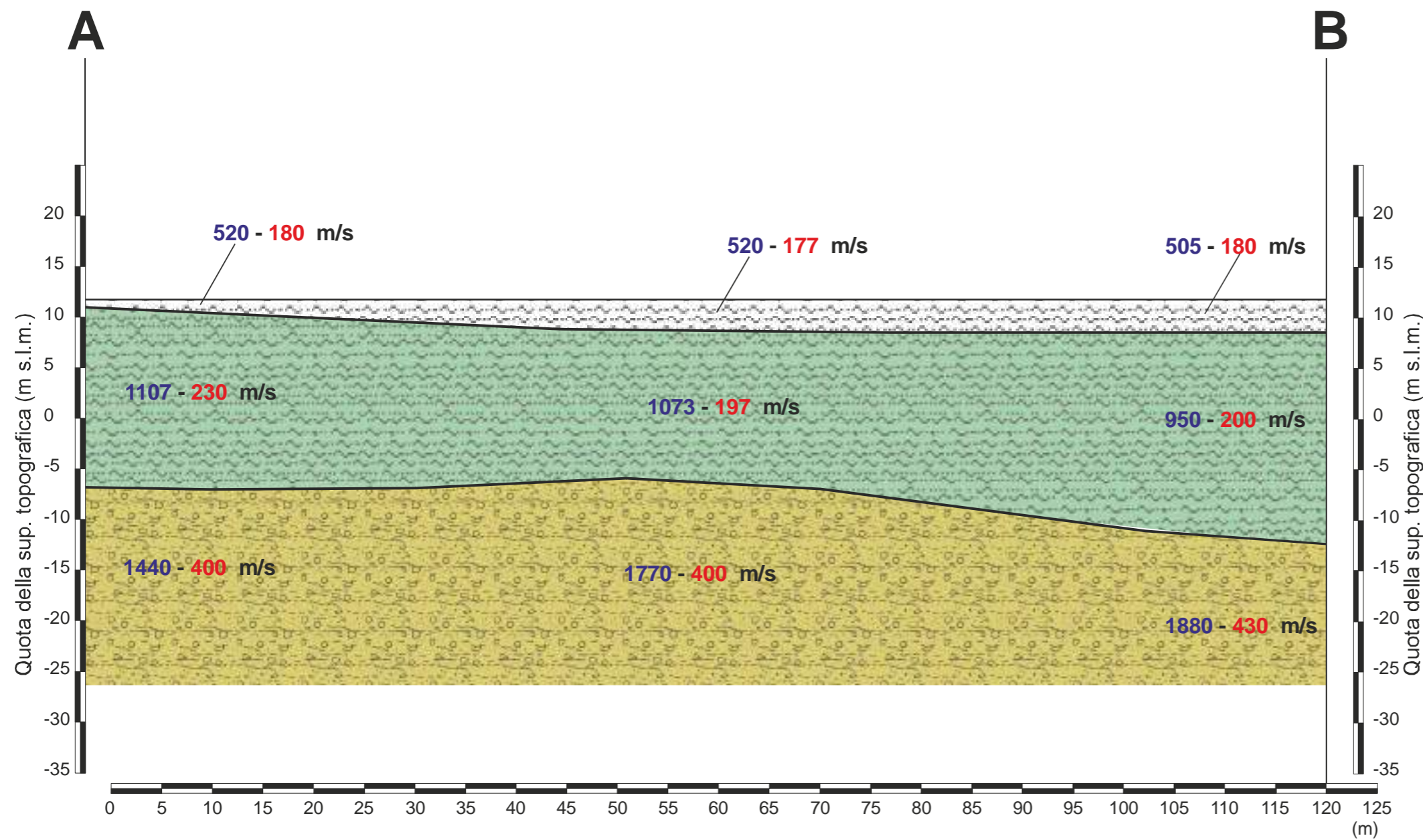
Basi sismiche: **ST5 - 1203081 (onde P);**  
**ST5 - 1203082 (onde SH)**

Località: **Capoluogo**

Data: **08/03/2012**

#### LEGENDA

- 250 m/s** Velocità sismica onde P in metri al secondo
- 250 m/s** Velocità sismica onde SH in metri al secondo
- Limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie da poco a mediamente compatti - mediamente addensati, sopra la falda acquifera
- Limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie più consistenti, mediamente addensati-compatti e/o con maggiore grado di umidità rispetto allo strato sovrastante
- Limi sabbiosi, sabbie limose, sabbie molto addensati-compatti e/o ghiaie mediamente addensate presumibilmente sotto falda



**ST5**

**Scala 1/500**

**ALLEGATO 2 - Report indagini geofisiche Piano strutturale  
Intercomunale**



---

**Dr. Geol. Benedetta Polverosi** - Via Baronciatica 95 loc. Tizzana - 51039 Quarrata (PT)

**Dr. Geol. Alessandro Fontanelli** - Via G. Pajetta, 48 - 56012 Calcinaia (PI)

**Dr. Geol. Andrea Casella** - P.za Berlinguer 38 loc. Arena Metato - 56017 San Giuliano Terme (PI)

**INDAGINI GEOSISMICHE INTEGRATIVE  
EFFETTUATE SU AREE POSTE IN ALCUNE ZONE  
DELLA VAL D'ERA (PI)**

**- indagini in sismica passiva HVSr**

**- indagini MASW**



**Comm.te : Dr. Geol. Fabio Mezzetti**

**DICEMBRE 2019**

---

**INDAGINI GEOSISMICHE INTEGRATIVE  
EFFETTUATE SU AREE POSTE IN ALCUNE ZONE  
DELLA VAL D'ERA (PI)**

---

La presente relazione sintetizza ed illustra i risultati di una campagna di indagini geofisiche che sono state effettuate in alcune zone della Val d'Era nel Dicembre 2019, consistenti in :

- 25 indagini tromometriche in sismica passiva (*HVSR*)
- 2 indagini *MASW*

L'ubicazione delle indagini è individuata nelle relative schede che contengono le monografie, con ubicazione, coordinate e documentazione fotografica di ciascuna prova.

In allegato sono inoltre riportati i singoli reports relativi alle varie indagini, con tutti i dettagli per le varie acquisizioni.

Sono allegati anche, in tavole specifiche, tutti i grafici H/V, raccolti per comodità di consultazione, mentre nella relazione sono riportate le tabelle di sintesi relative ai risultati delle indagini HVSR e MASW.

**INDAGINI GEOFISICHE IN SISMICA PASSIVA HVSR**

---

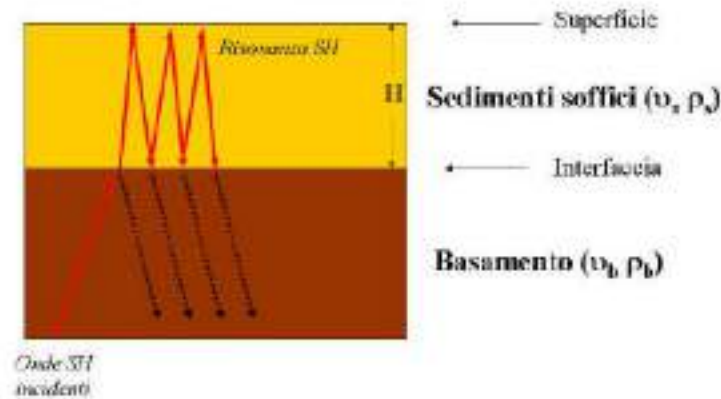
**GENERALITÀ**

La sismica passiva studia il microtremore sismico ambientale (rumore sismico), sfruttando il fatto che il "rumore", pur non recando l'informazione relativa alla sua sorgente, risulta sensibile alla locale struttura presso la stazione di misura.

La strumentazione per eseguire misure di sismica passiva può operare in spazi ridotti, non necessita di energizzazioni e permette di indagare profondità molto elevate. I tempi di esecuzione sono relativamente bassi.

Il rumore sismico ambientale deriva dalla composizione di molte sorgenti che agiscono in tempi diversi e in zone diverse. Nel campo del rumore sono rappresentate sia onde di volume (fronte d'onda sferico) sia onde di superficie (fronte d'onda cilindrico), ma le onde di superficie hanno carattere dominante, perché caratterizzate da minore attenuazione.

Quando fra 2 superfici esiste una variazione significativa dell'impedenza acustica si ha il fenomeno della *risonanza*, che deriva dall'intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all'interno delle coperture ovvero fra la superficie e un basamento rigido qui inteso come una formazione "caratterizzata da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti" delle onde.



Le frequenze a cui si manifesta la *risonanza* sono descritte dalla legge:

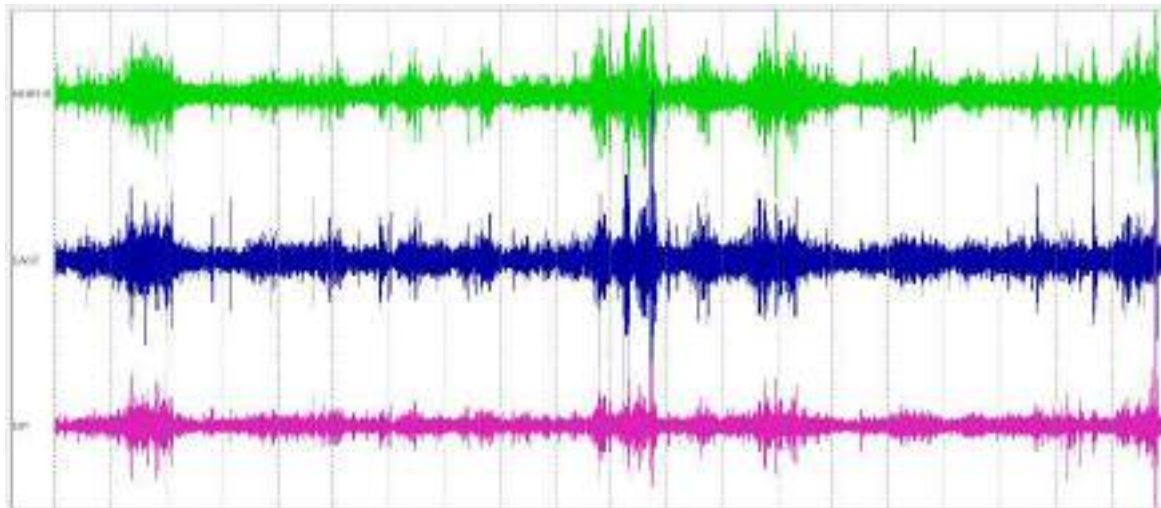
$$f = n \frac{V_s}{4H} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

dove  $n$  indica l'ordine del modo di vibrare (fondamentale, primo superiore ecc.),  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio nello strato oggetto di risonanza e  $H$  è lo spessore di detto strato.

Nella maggior parte dei casi, a causa dell'attenuazione delle coperture, il solo modo visibile è il fondamentale.

Le registrazioni in campagna vengono effettuate mediante un *tromografo*, che consiste in un'apparecchiatura che riunisce una terna di sensori velocimetrici orientati su tre direzioni ortogonali:

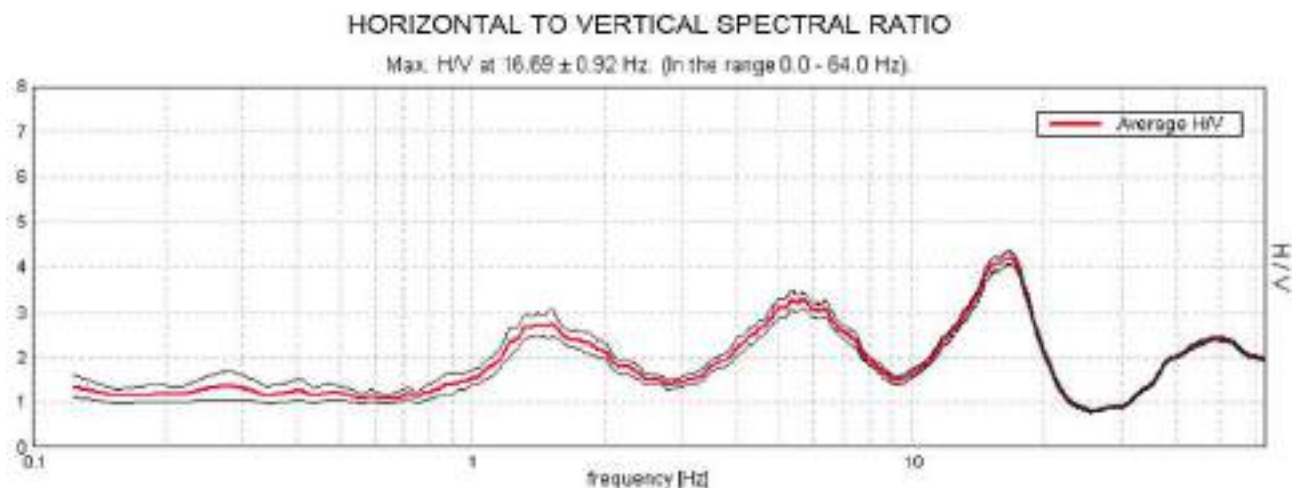
- 2 nella componente orizzontale dello spostamento (tra loro ortogonali) per misure su suoli ordinariamente corrispondenti alle direzioni NS ed EW;
- 1 nella componente verticale (up-down).



I diagrammi relativi a tali registrazioni vengono elaborati attraverso la determinazione dell'intensità del segnale in sottofinestre di determinata durata, e trasformati in spettri H/V.

Nella pratica si utilizza il rapporto H/V perché è un buon normalizzatore e un buon estimatore delle frequenze di risonanza dei terreni; i valori assoluti degli spettri orizzontali e verticali variano infatti con il livello assoluto del rumore ambientale, mentre la forma dello

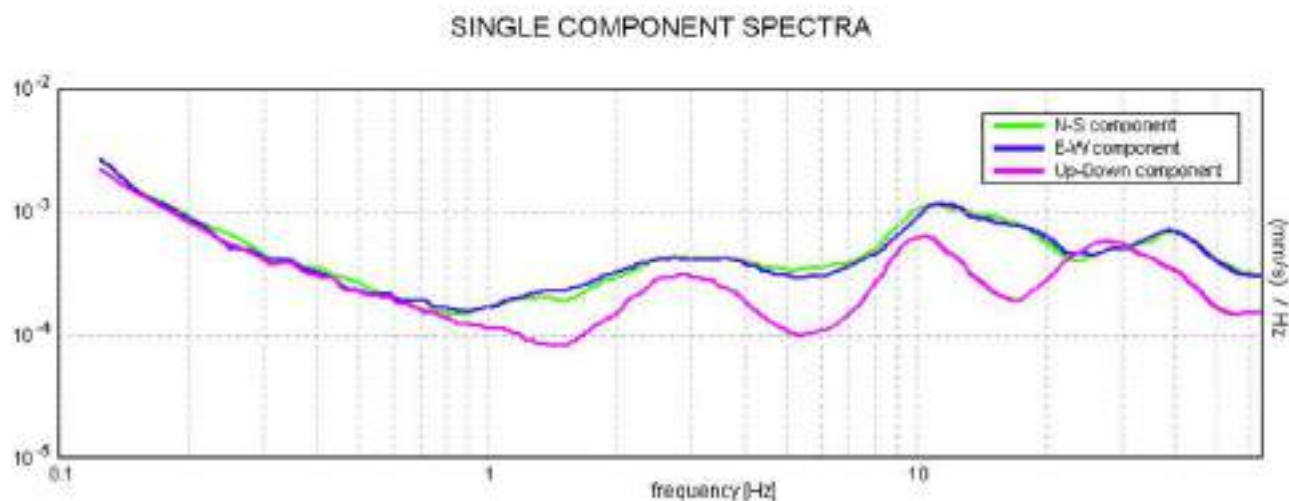
spettro e in particolare il rapporto tra le ampiezze orizzontale e verticale si mantiene più stabile, e per il suo carattere stocastico mostra caratteristiche correlabili con la struttura locale del suolo. Alle frequenze caratteristiche di vibrazione dei suoli corrisponde infatti un decremento del segnale della componente verticale, che determina un picco nel rapporto spettrale rappresentato dal grafico seguente.



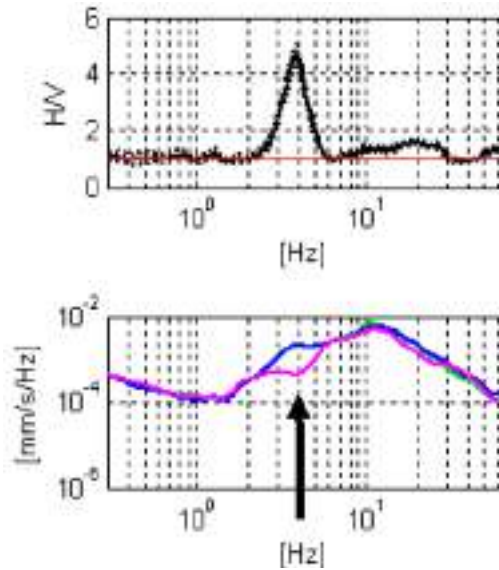
In un mezzo senza contrasti di impedenza (es. un ammasso roccioso sano) la curva H/V risulta teoricamente piatta e con valore medio tra 0,7 e 1,0 (in funzione del modulo  $\mu$ ).

La presenza di un picco nella curva H/V può essere data da un fenomeno di risonanza, causato da una variazione di velocità delle onde sismiche nel terreno, e quindi da passaggi stratigrafici caratterizzati da un notevole contrasto tra le velocità sismiche stesse.

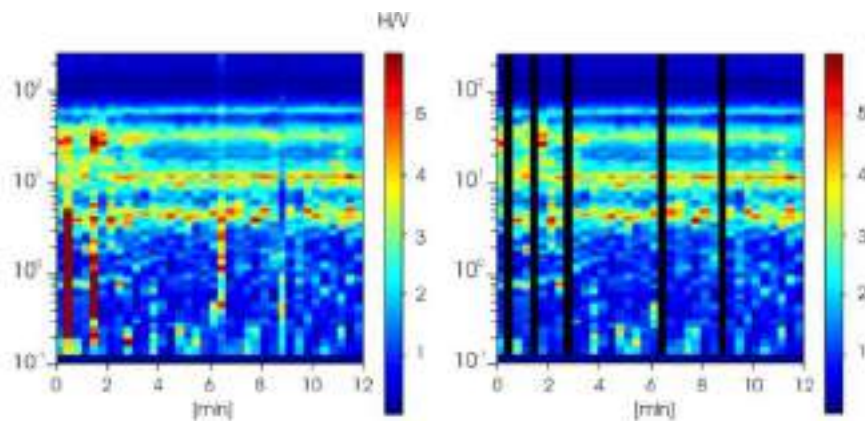
Dato che tali picchi su H/V possono essere dovuti anche ad artefatti e transienti, H/V deve essere sempre analizzato alla luce degli spettri delle singole componenti.



Un picco di natura stratigrafica (e non artefattuale) presenta un minimo locale della componente spettrale verticale, mentre picchi spettrali (di solito aguzzi) su tutte le 3 componenti del moto sono di origine antropica.

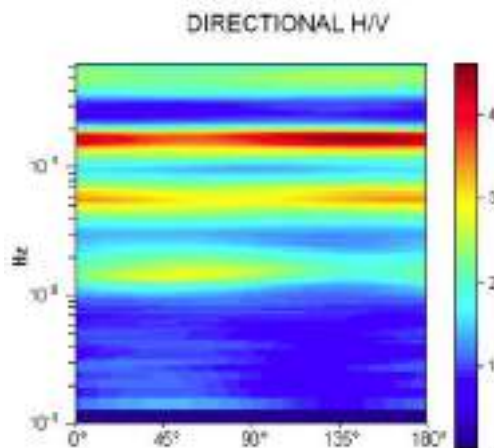


L'elaborazione degli spettri H/V comporta quindi un'analisi ragionata dei vari picchi, uno *smoothing* e una valutazione sugli spettri nelle varie "finestre" di tempo in cui è stata suddivisa l'acquisizione, in modo da poter eventualmente rimuovere gli intervalli di misura caratterizzati da disturbi.



Di solito è consigliabile effettuare le correzioni nel dominio delle frequenze, e non operare nel dominio del tempo, in quanto in tale contesto non è agevole identificare quali perturbazioni siano relative ad artefatti e transienti.

Altro aspetto importante da considerare è la *stabilità direzionale* del segnale, che è un elemento a favore della valenza stratigrafica del picco analizzato.



## **CAMPAGNA DI PROSPEZIONI IN OGGETTO**

Le prospezioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di uno strumento TROMINO® della Micromed Geophisics, espressamente progettato per misure di microtremore.



*TROMINO® è uno strumento efficiente per la misura del rumore sismico; presenta ridotte dimensioni e peso, e bassissimo consumo di energia. L'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata consente di ottimizzare la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz; i sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati criticamente che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore a dinamica non inferiore a 23 bit. Le caratteristiche progettuali consentono una accuratezza relativa maggiore di  $10^{-4}$  sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz.*

*L'assenza di cavi esterni consente inoltre di lasciare virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente.*

*Lo strumento dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri elettrodinamici ad alta risoluzione disposti secondo tre direzioni ortogonali. Il moto del terreno viene amplificato, convertito in forma digitale, organizzato e salvato su una memoria digitale di tipo Flash.*

*I dati registrati da TROMINO® possono essere scaricati, organizzati, archiviati, visualizzati e analizzati tramite il programma Grilla fornito assieme allo strumento. Esso include inoltre procedure per l'analisi spettrale di base e per l'analisi HVSR anche secondo le direttive fornite dal progetto di ricerca europeo SESAME.*

\* \* \*

Il lavoro si è articolato individuando, nelle zone di interesse, 25 postazioni di misura, in ciascuna delle quali è stata effettuata una rilevazione del microtremore sismico ambientale con le seguenti modalità:

- durata dell'acquisizione pari a 20' (per le postazioni 24 e 25 30');
- suddivisione dell'acquisizione stessa in "finestre" temporali di 20" ;
- frequenza di campionamento pari a 128 Hz.

Per ogni stazione di misura è stata redatta una scheda monografica che illustra la posizione di dettaglio da foto-sat / CTR e da documentazione fotografica, con le coordinate WGS84-DD. In linea generale tali postazioni non risultano in prossimità di fonti di rumore tali da ostacolare e/o obliterare una corretta acquisizione dei segnali.

## **CRITERI DI ANALISI DELLE MISURE**

I dati di campagna sono stati in primo luogo trattati con una procedura di analisi o trattamento consistente in:

- lisciatura triangolare dal 15 al 20% ;

- analisi temporale dell'intero spettro (0-64 Hz) in sottofinestre di 20 s ;
- analisi direzionale con step di 5° .

Successivamente, analizzato il dato ottenuto, si è effettuata una "pulizia" (nel dominio delle frequenze) tramite eliminazione delle sottofinestre temporali contenenti sollecitazioni transienti, con nuova analisi sulle sole finestre selezionate, fino al raggiungimento di un risultato il più possibile chiaro. In questa seconda fase di elaborazione la lisciatura triangolare è stata diminuita, a seconda dai vari casi, fra il 10% ed il 18 %.

Nell'ambito di alcune stazioni si è anche ristretto l'ambito di analisi all'intervallo di frequenze ottimale per avere, nel relativo *report*, la valutazione secondo le linee guida *SESAME* per il "picco" H/V significativo. Questo in sintesi è stato effettuato ogni qualvolta si avesse un picco di maggiore entità localizzato nel *range* delle alte frequenze, non avente interesse stratigrafico.

### **CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE**

Le misure sono soggette alle valutazioni sulla "robustezza" statistica del dato secondo i criteri del protocollo *SESAME*, automaticamente inserito nei singoli report. Nell'interpretare la tabella *SESAME* di significatività dei picchi H/V bisogna considerare che ogni sito può generare più di una risonanza, e che non esiste una risonanza fondamentale in assoluto.

- I primi 3 criteri della tabella dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata.
- I secondi 6 criteri della tabella dicono se il picco è significativo da un punto di vista statistico. E' bene che ne siano soddisfatti il maggior numero possibile (preferibilmente almeno 5 su 6) ma si ricordi che eventuali NO su tutte le righe non implicano necessariamente che la registrazione è stata effettuata male ma implicano che non ci sono picchi significativi. Ad esempio una registrazione su roccia "sana" darebbe NO su tutti questi criteri.

Un'ulteriore classificazione dei risultati può essere effettuata tenendo conto dei criteri adottati nello studio di "Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell'area Aquilana" a cura del Dipartimento della Protezione Civile, e finalizzati a una valutazione più generale, e più restrittiva, della qualità del dato acquisito, secondo i seguenti parametri:

- stazionarietà del segnale nel campo dello sviluppo temporale dello spettro
- isotropia del segnale nel campo dello sviluppo direzionale dello spettro
- presenza di rumore elettromagnetico, con particolare riferimento al campo di frequenza di eventuali picchi
- plausibilità fisica del picco
- robustezza statistica del picco (comprensiva dei primi 3 criteri *SESAME*)
- durata della misura.

Le misure sono classificabili:

- in CLASSE A di qualità quando soddisfano tutti i criteri, fatta eccezione per gli spettri piatti che ovviamente disattendono i criteri *SESAME* per assenza di picchi significativi;
- in CLASSE B quando ne disattendono almeno uno ma mantengono buona leggibilità;
- in CLASSE C quando contengono elementi di disturbo invalidanti ai fini della corretta interpretazione.

Nel primo caso le misure sono utilizzabili anche da sole, nel secondo caso sono utilizzabili con cautela e unitamente ad altre misure effettuate nell'ambito della lunghezza d'onda di

interesse, nel terzo caso vanno scartate. Limitatamente ai primi due casi sono definite le sottoclassi 1 e 2 in base alla presenza o meno di un picco chiaro.

### OSSERVAZIONI SUI RISULTATI

I risultati delle acquisizioni tromometriche sono contenuti nei singoli reports. Sono stati poi raccolti (vedere tavola allegata) i grafici H/V, zona per zona, per immediata visualizzazione e confronto. La seguente tabella sintetizza le risultanze dell'indagine.

#	località	picco	H/V	criteri SESAME										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9		
		Hz												
21	Casc. Buti	1.25	4.4			3					6			
22	Casc. Buti	2.00	4.2											
		34.47	4.4			3					4			
23	Casc. Buti	1.84	3.4			3							4	
		42.00	3.2											
1	Sardina	0.42	3.7											
		1.28	3.8			3						5		
		35.00	2.8											
2	Sardina	1.19	3.3			3							5	
3	Sardina	0.50	2.6											
		1.47	4.2			3						4		
25	Sardina	1.16	3.5			3							6	
4	Calcinaja	0.44	2.8											
		1.20	2.7											
		26.97	2.9			3						4		
5	Calcinaja	0.41	3.7			2							6	
		1.80	2.6											
6	Calcinaja	0.40	2.8											
		2.03	3.9			3							6	
		54.00	4.2											
7	Calcinaja	0.40	3.2											
		1.78	3.6			3							6	
24	Montecchio	1.09	3.0			3							6	
8	P. Navetta	0.41	4.0			2							4	
11	Chiesino	0.35	3.2			2							5	
		54.00	7.0											
12	Chiesino	0.35	3.3											
		1.16	3.9			3							6	
9	La Botte	0.94	5.2			3							6	
10	La Botte	0.72	3.9			3							6	
13	Fornacette	0.63	4.2			3							6	
14	Fornacette	0.50	3.7			2							5	
		1.00	3.3											
15	Fornacette	0.99	3.1											
		1.19	3.6			3							6	
16	Fornacette	0.50	4.0			2							5	
		1.20	3.3											
17	Fornacette	0.47	4.0			2							6	
		1.20	3.8											
		47.00	2.4											
18	Fornacette	0.40	3.3											
		1.19	4.1			3							6	
		35.00	3.0											
19	W di Gello	0.50	2.6											
		2.22	3.4			3							6	
		20.00	3.1											
		45.00	5.3											
20	S di La Borra	1.19	3.2			3							6	



- Nella zona di Cascine di Buti sono presenti picchi significativi di H/V a frequenze di 1,25 , 2,00 , 1,84 Hz.
- Nella zona di "Sardina" sono presenti picchi H/V a 1,28 , 1,19 , 1,47 , 1,18 Hz; nelle postazioni 1 e 3 emergono anche picchi a frequenze più basse: 0,42 e 0,50 Kz, appena accennato in postaz.2 e assente in postaz. 25.
- Nella zona più vicina all'abitato di Calcinaia si hanno evidenti picchi a basse frequenze (0,40-0,41 Hz) nelle postazioni 5 e 7; anche nelle postazioni 4 e 6 si hanno dei picchi H/V a basse frequenze, ma più blandi. Nelle postazioni 6 e 7 si hanno dei picchi significativi anche, rispettivamente, a 2,03 e 1,78 Hz, e a frequenze simili è appena accennato un picco nella postazione 5.
- Nella pianura presso Montecchio si riscontra solo un blando picco a 1,09 Hz.
- Nella zona di P. alla Navetta è presente un picco significativo a 0,41 Hz.
- Nella zona di Fornacette in tutte le postazioni sono rappresentati sia il picco alle basse frequenze (da 0,39 a 0,63 Hz) sia il picco sugli 1,0-1,2 Hz, con la sola eccezione della postazione 13 in cui il picco alle frequenze superiori è blando e appena accennato.
- Per la zona di Chiesino Allori / Chiesino Collodi si ha il picco a basse frequenze (0,35 Hz) e nella postaz. 12 anche un netto picco a 1,16 Hz.
- Nella zona di La Botte / Case Bianche è presente un netto picco di H/V a 0,94 Hz nella postazione 9, mentre nella postazione 10 il picco è a frequenze sensibilmente più basse, meno netto e di entità inferiore.
- Nella postazione a W di Gello (n. 19) si hanno diversi picchi di H/V, dei quali il più significativo è a 2,22 Hz.
- Nella postazione a S di "La Borra" (n. 20) è presente il picco di ca. 1,2 Hz, con andamento piuttosto blando e entità di 3,2.

## INDAGINI MASW

---

Sono state eseguite 2 prove sismiche finalizzate alla determinazione del profilo sismo-stratigrafico del sottosuolo in termini di Vsh, consistenti di una prova multicanale attiva con tecnica *MASW* (geometria lineare); la prova utilizza la dispersione delle onde superficiali, energeticamente dominanti, rilevate da una serie di strumenti di ricezione (geofoni), per stimare l'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità.

In tutti e 2 i casi l'analisi è stata condotta anche in modalità comparata con i risultati delle prove *HVSR* poste nello stesso sito, per migliorare i risultati in profondità.

Lo stendimento impiegato per il profilo *MASW* ha in entrambi i test le seguenti caratteristiche:

- ✓ n. geofoni: 12 verticali
- ✓ spaziatura fra i geofoni: 5 m
- ✓ n. shots: 8 a distanze di 7.5, 10, 12.5, 15 m metri dalla linea geofonica, sommabili
- ✓ tempo di acquisizione : 1.000 msec.

Lo stendimento è da considerare orizzontale ai fini dell'interpretazione, in quanto i dislivelli presenti sono limitati a pochi centimetri.

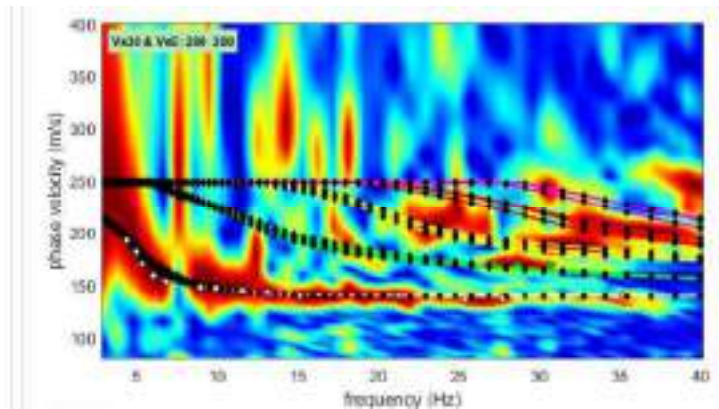
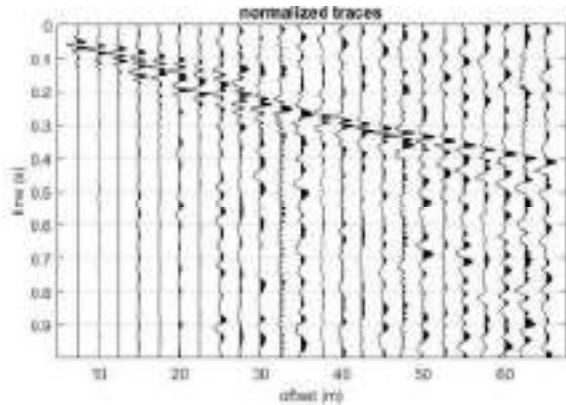
Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *winMASW vers. 7.1 Academy*, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite

l'inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici".

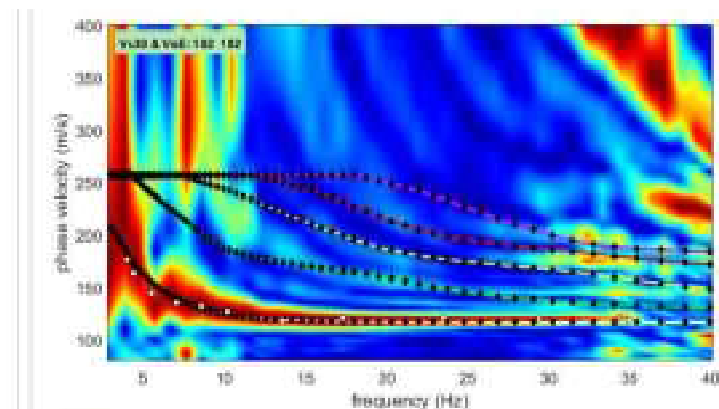
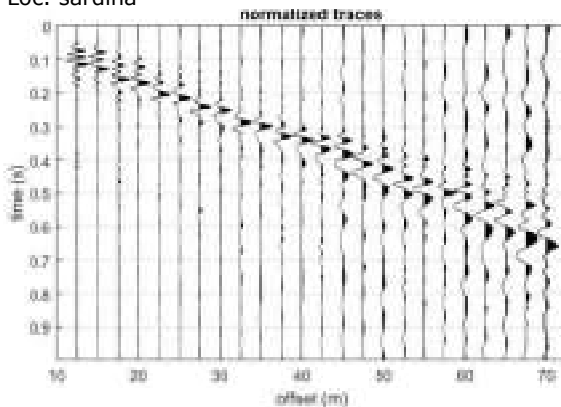
Sono stati analizzati tutti i dataset disponibili ottenuti dalla somma in sequenza dei dataset singoli di campagna, a ottenere linee geofoniche con 24 canali spazati a 2.5 m.

I dati riportati nel seguito si riferiscono allo spettro più chiaro per ogni postazione, e rappresentano il dataset di campagna e lo spettro di velocità, a cui si sovrappongono le curve teoriche relative al modello di input e il picking effettuato.

Loc. fornacette



Loc. sardina



L'inversione dei dati in termini di algoritmi genetici, successiva a una modellazione diretta della curva che consente un controllo a monte sul modello di riferimento utilizzato per l'interpretazione, consente di ottenere una successione sismo-stratigrafica caratterizzata da diversi strati a diversa velocità  $V_{sh}$ , con riferimento alla mezzeria dello stendimento sismico, come illustrato in allegato. Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle analisi condotte tramite inversione della curva di dispersione, elaborata a partire da un modello di input coerente con la geologia locale.

I risultati ottenuti mostrano globalmente velocità delle coperture superficiali molto basse, con  $V_s$  comprese tra 130 e 270 m/s, sovrapposte a un substrato con maggiore impedenza sismica e velocità delle onde di taglio dell'ordine di 450 m/s, valutabile da altre indagini eseguite in aree adiacenti. Un probabile bedrock sismico ad alta impedenza sismica è testimoniato dalla presenza di un picco netto anche alle basse frequenze.

Le singole postazioni hanno fornito i risultati riassunti nella tabella seguente, dove in nero sono indicati i dati desunti dalle prove attive, che hanno evidenziato penetratività comprese nei 30 m, e in blu quanto desumibile dai picchi delle prove passive a stazione singola.

MASW	HVSR	Picco HV	modellazione congiunta MASW/HVSR			
1 Loc. Fornacette	15		Strato	Vs	spessore	risultati
			1	150	7	
			2	186	8.4	Vs <sub>30</sub> 195
		1.2 Hz	3	235	27.6	Vs <sub>eq</sub> >330
		A 3.5	4	>400	>160	Vs <sub>bedrock</sub> >800
		0.4 Hz	5	>800	bedrock	rapporto di velocità >2.4
		A 3.0				spessore >200 copertura
MASW/ESAC	HVSR	Picco HV	modellazione congiunta MASW/HVSR			
2 Loc. Sardina	3		Strato	Vs	spessore	risultati
			1	131	6.2	
			2	161	12.3	Vs <sub>30</sub> 181
		1.47 Hz	3	268	12.5	Vs <sub>eq</sub> >325
		A 4.2	4	>400	>130	Vs <sub>bedrock</sub> >800
		0.5 Hz	5	>800	bedrock	rapporto di velocità >2.5
		A 2.5				spessore >160 copertura

Sono state riscontrate criticità sotto il profilo della risposta sismica; non si rilevano inversioni di velocità significative.

Il contrasto di rigidità rilevato in tutte le indagini alla base della copertura sciolta risulta invece netto, associabile a picchi H/V con ampiezza intorno a 4, e posto tra 1.2 e 1.5 Hz a identificare una superficie risonante posta tra 30 e 45 m. E' correlabile con la presenza di un substrato stratigrafico costituito da sedimenti sovraconsolidati riferibili alle formazioni plio-pleistoceniche, affioranti nei rilievi collinari contermini a Est e a Sud dell'area di indagine.

La superficie risonante rilevabile a bassa frequenza, intorno a 0.4-0.5 Hz, identifica invece un bedrock sismico ad elevata velocità, come presumibile dall'ampiezza del picco che si mostra molto marcata nonostante l'elevata profondità, quest'ultima stimata, al minimo, in circa 160 m dal p.c.; per le caratteristiche suddette, tale superficie può essere verosimilmente associata al tetto delle successioni epimetamorfiche del Verrucano s.l., anch'esse affioranti nei rilievi limitrofi a NW dell'area di interesse (M. Pisano).

#### ALLEGATI / TAVOLE FUORI TESTO :

- monografie indagini
- reports indagini HVSR
- riepilogo grafici HVSR
- allegati indagini MASW

Calcinaia, Dicembre 2019



# INDAGINE MASW INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 1



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate centro stendimento : 43.668701 - 10.597585

contesto globale : bordo abitato

contesto locale : limite area a prato/seminativo

condizioni climatiche : nuvoloso

rumori/disturbi : traffico intenso

## INDAGINE MASW INTEGRATIVA VALDERA N. 2



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate centro stendimento : 43.693705 - 10.620357

contesto globale : limite zona industriale

contesto locale : appezzamento incolto

condizioni climatiche : nuvoloso

rumori/disturbi : assenti

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 1



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.7054386 - 10.6161112

orientazione strumento : N

contesto globale : zona urbanizzata

contesto locale : bordo zona industriale

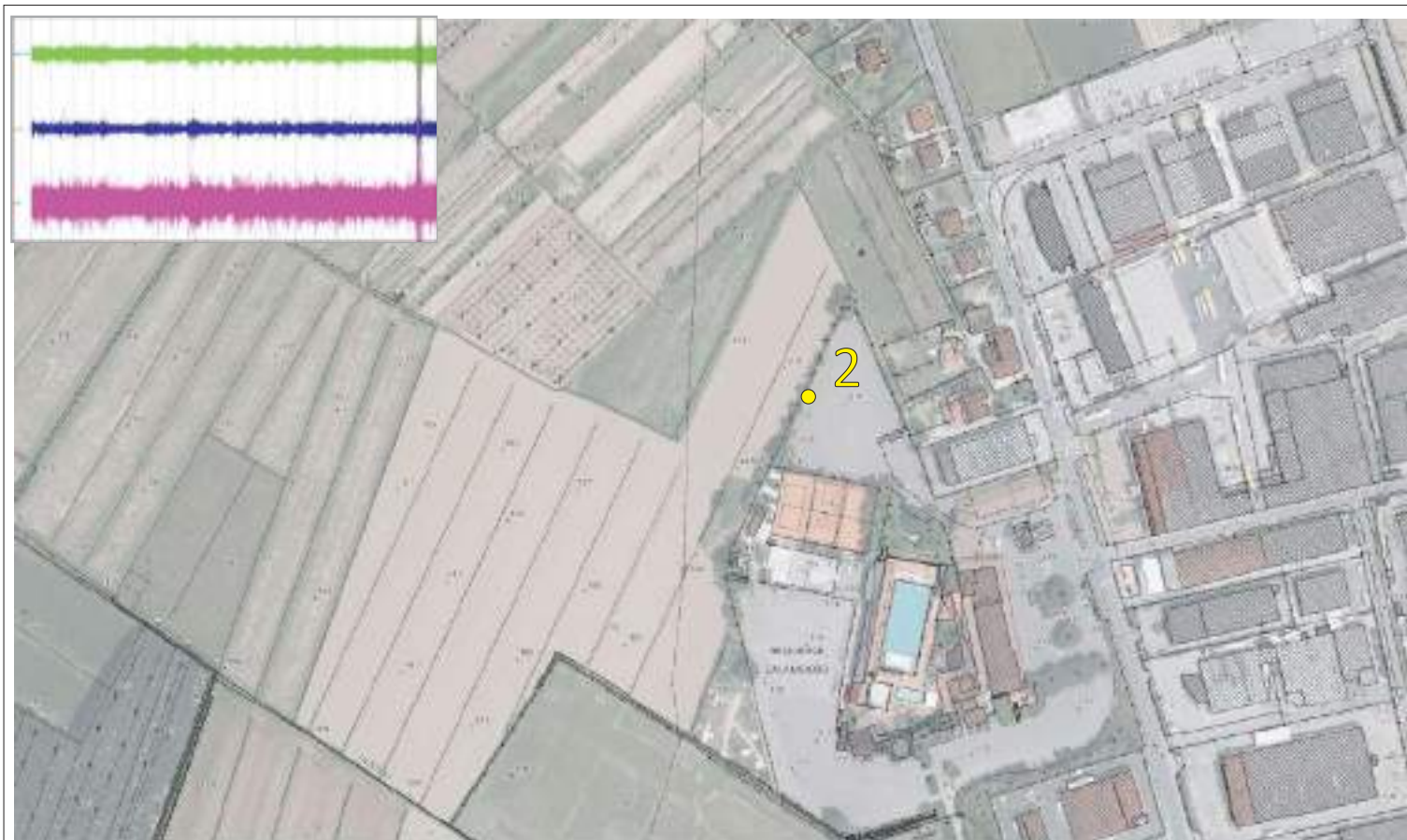
condizioni climatiche : sereno

rumori/disturbi : assenti

## INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 2



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.7007306 - 10.6186985

orientazione strumento: N

contesto globale: zona urbanizzata

contesto locale: limite parcheggio impianti sportivi

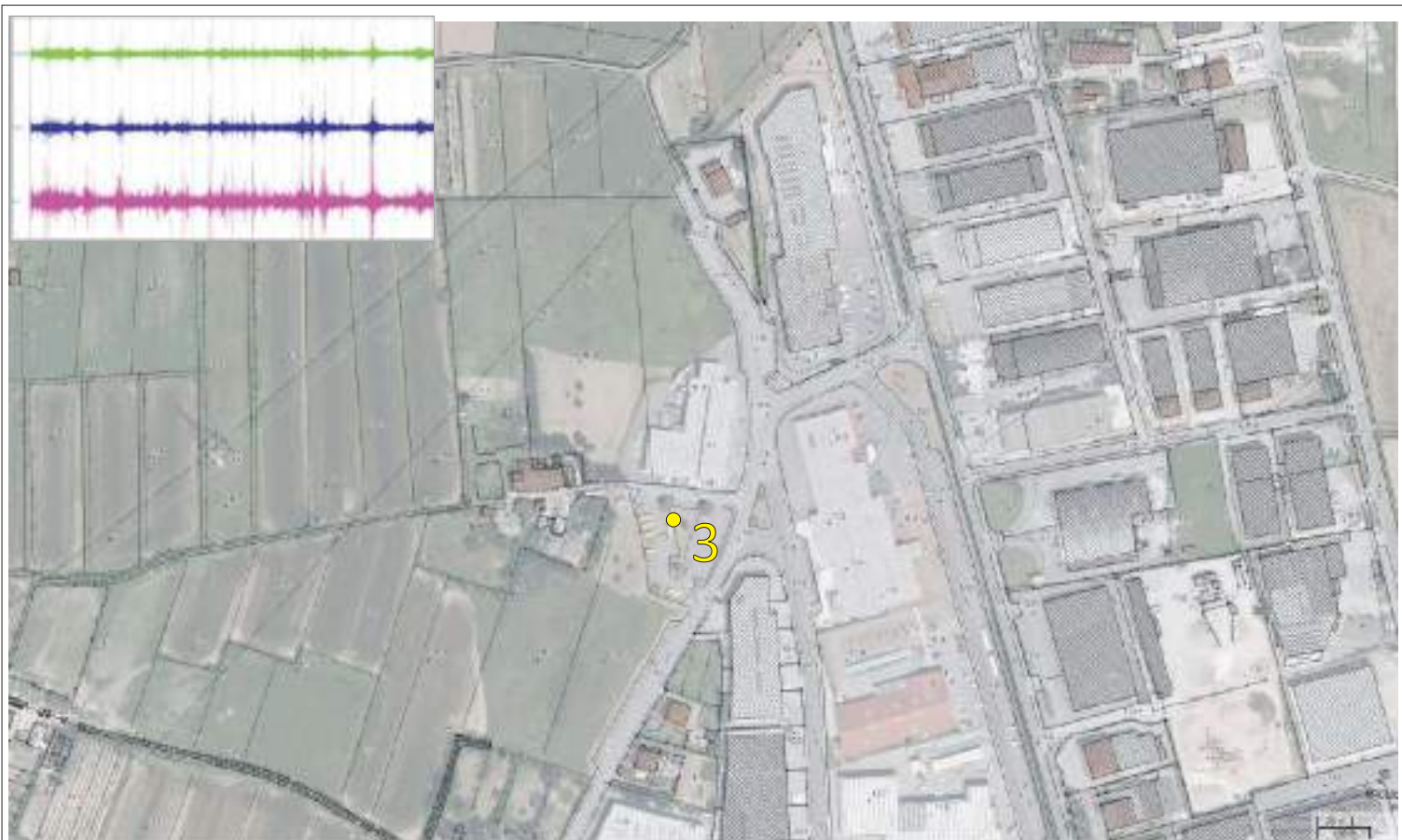
condizioni climatiche: sereno

rumori/disturbi: assenti

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 3



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6931966 - 10.6207846

orientazione strumento: N

contesto globale: bordo zona industriale

contesto locale: area a verde zona parcheggio

condizioni climatiche: sereno

rumori/disturbi: traffico assente



# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 4



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6845845 - 10.6048375

orientazione strumento : N

contesto globale : zona urbanizzata

contesto locale : bordo abitato

condizioni climatiche : sereno

rumori/disturbi : traffico intermittente

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 5



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6852949 - 10.6115702

orientazione strumento: N

contesto globale: zona urbanizzata

contesto locale: centro abitato

condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: traffico scarso

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 6



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate : 43.6852949 - 10.6115702

orientazione strumento : N

contesto globale : zona urbanizzata

contesto locale : centro abitato

condizioni climatiche : sereno

rumori/disturbi : traffico scarso

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 7



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6802029 - 10.6202673

orientazione strumento: N

contesto globale: limite zona urbanizzata

contesto locale: bordo abitato

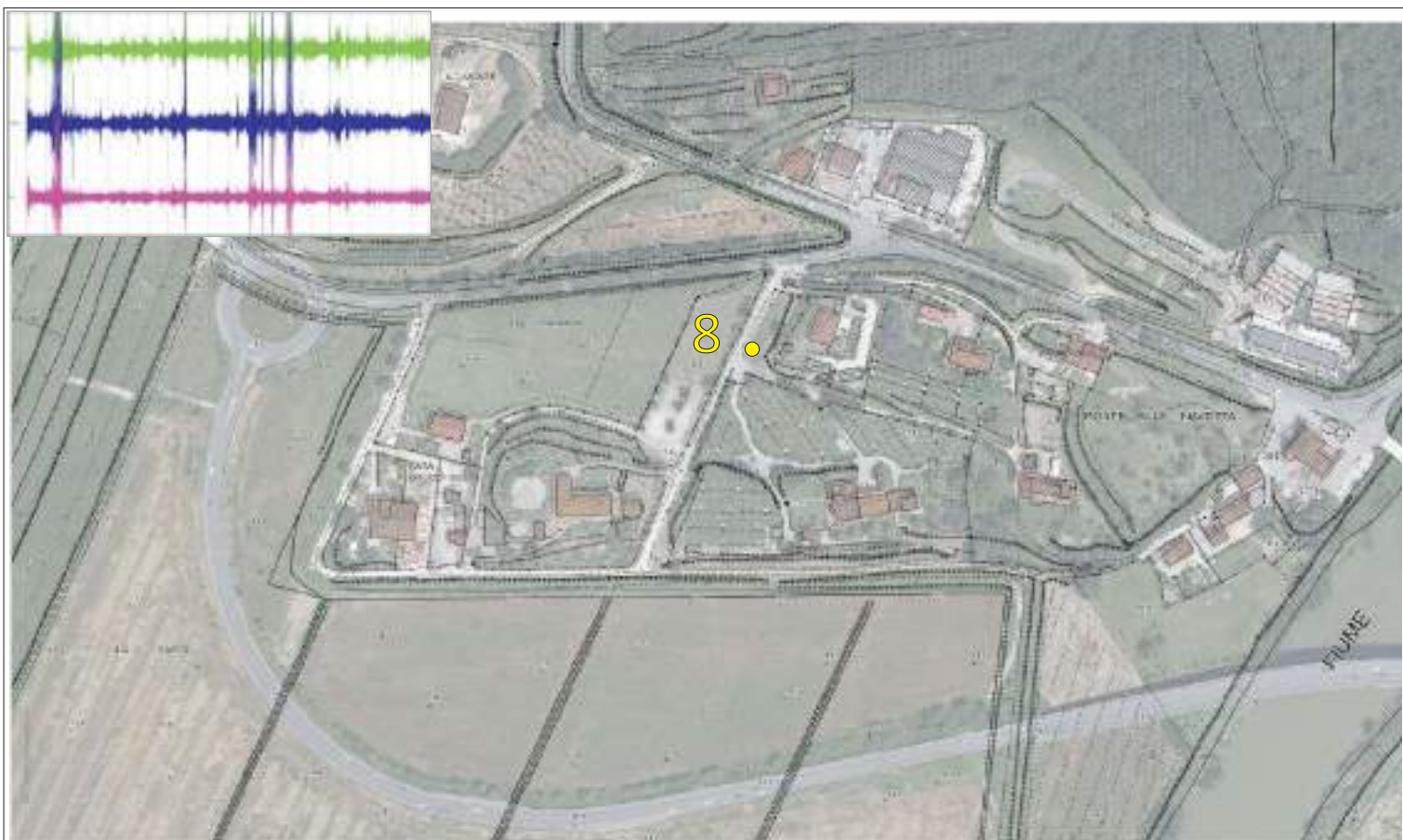
condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: assenti

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 8



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6788698 - 10.6359190

orientazione strumento : N

contesto globale : zona di campagna pedecollinare

contesto locale : prato

condizioni climatiche : nuvoloso

rumori/disturbi : traffico piuttosto intenso

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 9



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6807082 - 10.5827693

orientazione strumento: N

contesto globale: zona industriale

contesto locale: piccola area a verde

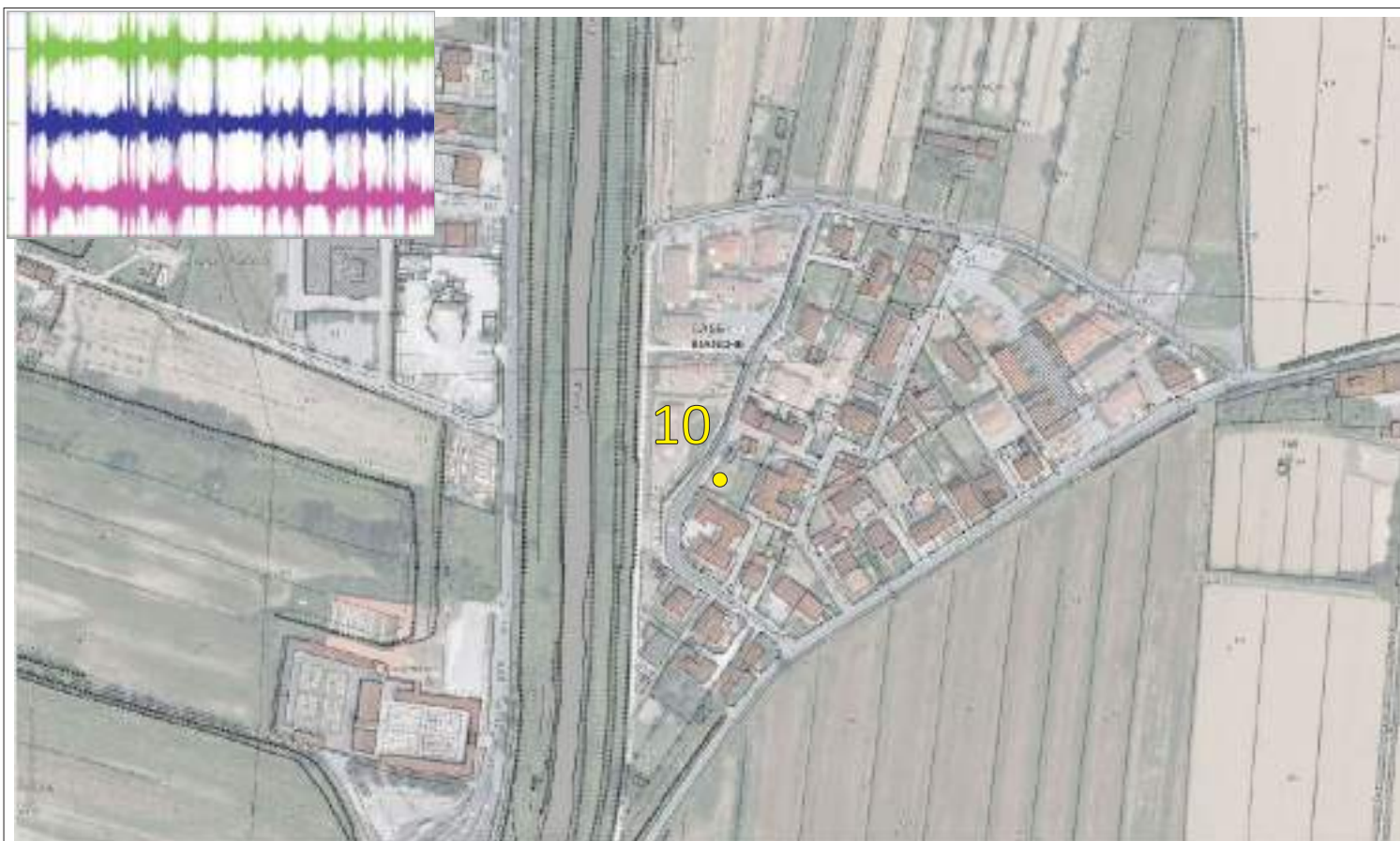
condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: traffico intermittente

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 10



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.771207 - 10.5853339

orientazione strumento: N

contesto globale: centro abitato

contesto locale: piccola area a verde

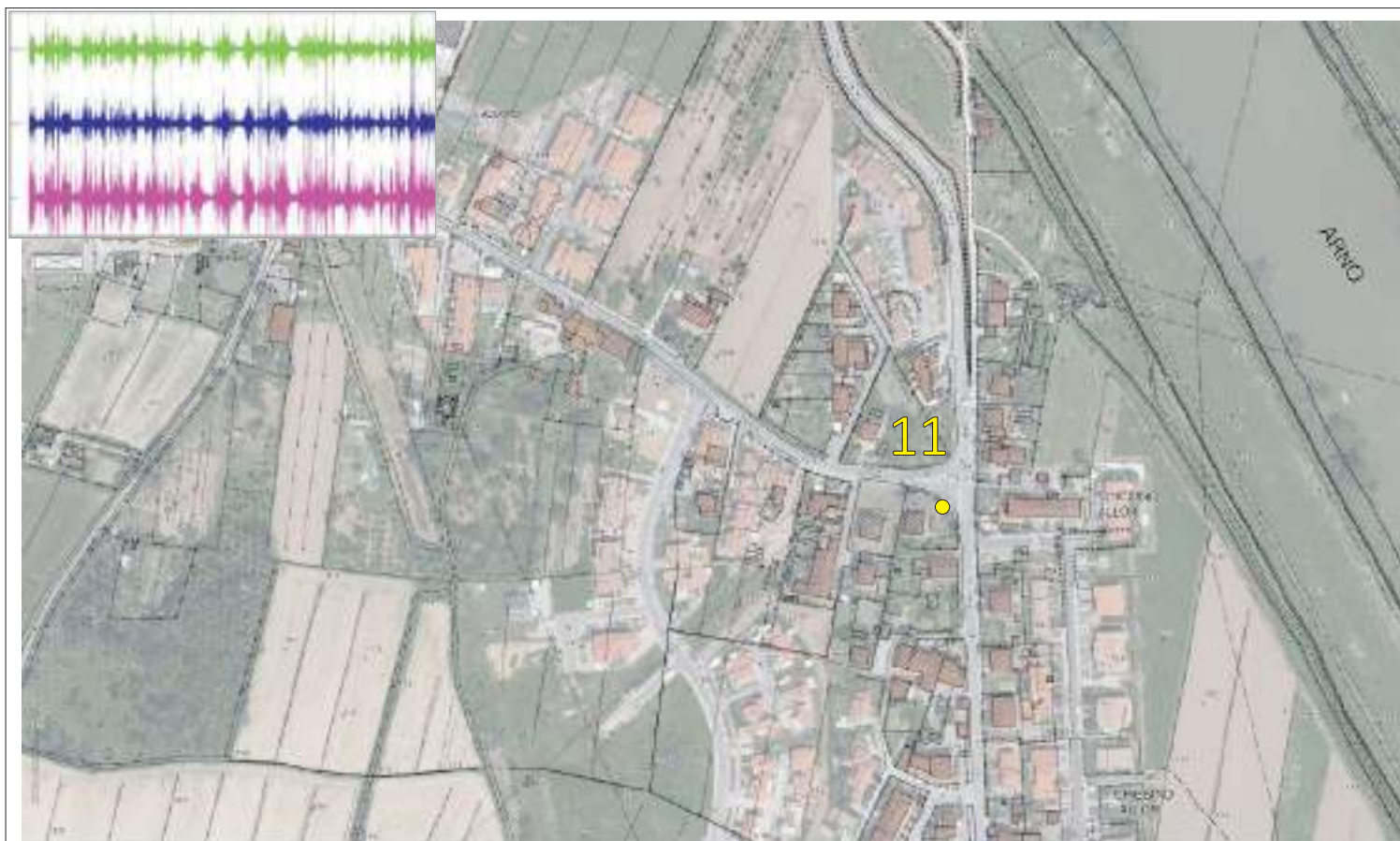
condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: traffico quasi nullo

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 11



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6775000 - 10.6151077

orientazione strumento : N

contesto globale : centro abitato

contesto locale : striscia a verde bordo marciapiede

condizioni climatiche : sereno

rumori/disturbi : traffico medio/intenso



# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 12



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6748486 - 10.6105352

orientazione strumento: N

contesto globale: appezzamenti a prato/seminativo

contesto locale: traccia di stradello nel verde

condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: traffico assente / assenza di qualsiasi rumore

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 13



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6730459 - 10.5777402

orientazione strumento : N

contesto globale : centro abitato

contesto locale : verde pubblico

condizioni climatiche : nuvoloso

rumori/disturbi : traffico medio/sostenuto

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 14



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6721852 - 10.5909538

orientazione strumento: N

contesto globale: bordo abitato

contesto locale: area a prato/seminativo

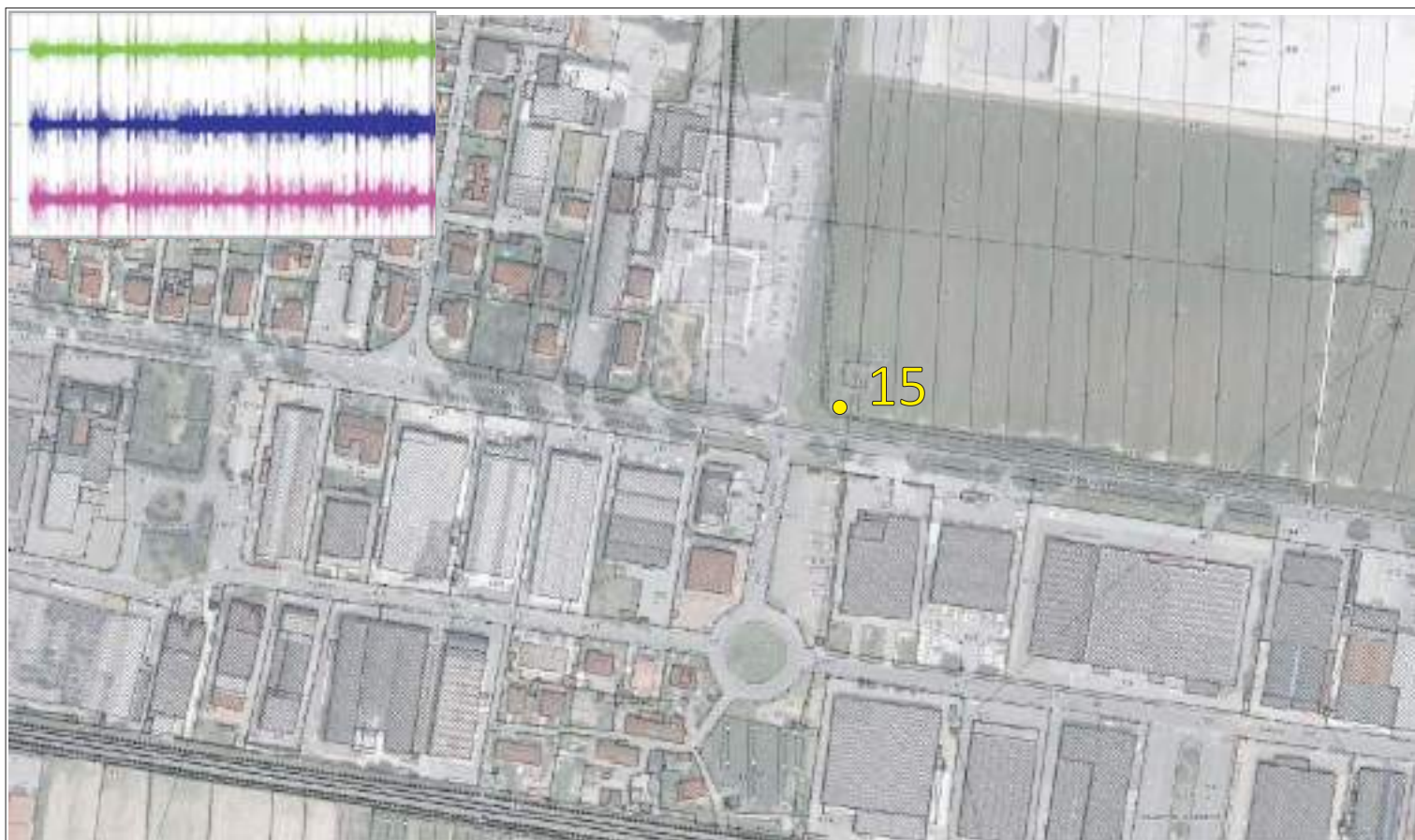
condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: non traffico - attività industriale

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 15



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6687517 - 10.5972502

orientazione strumento: N

contesto globale: bordo abitato

contesto locale: area a prato/seminativo

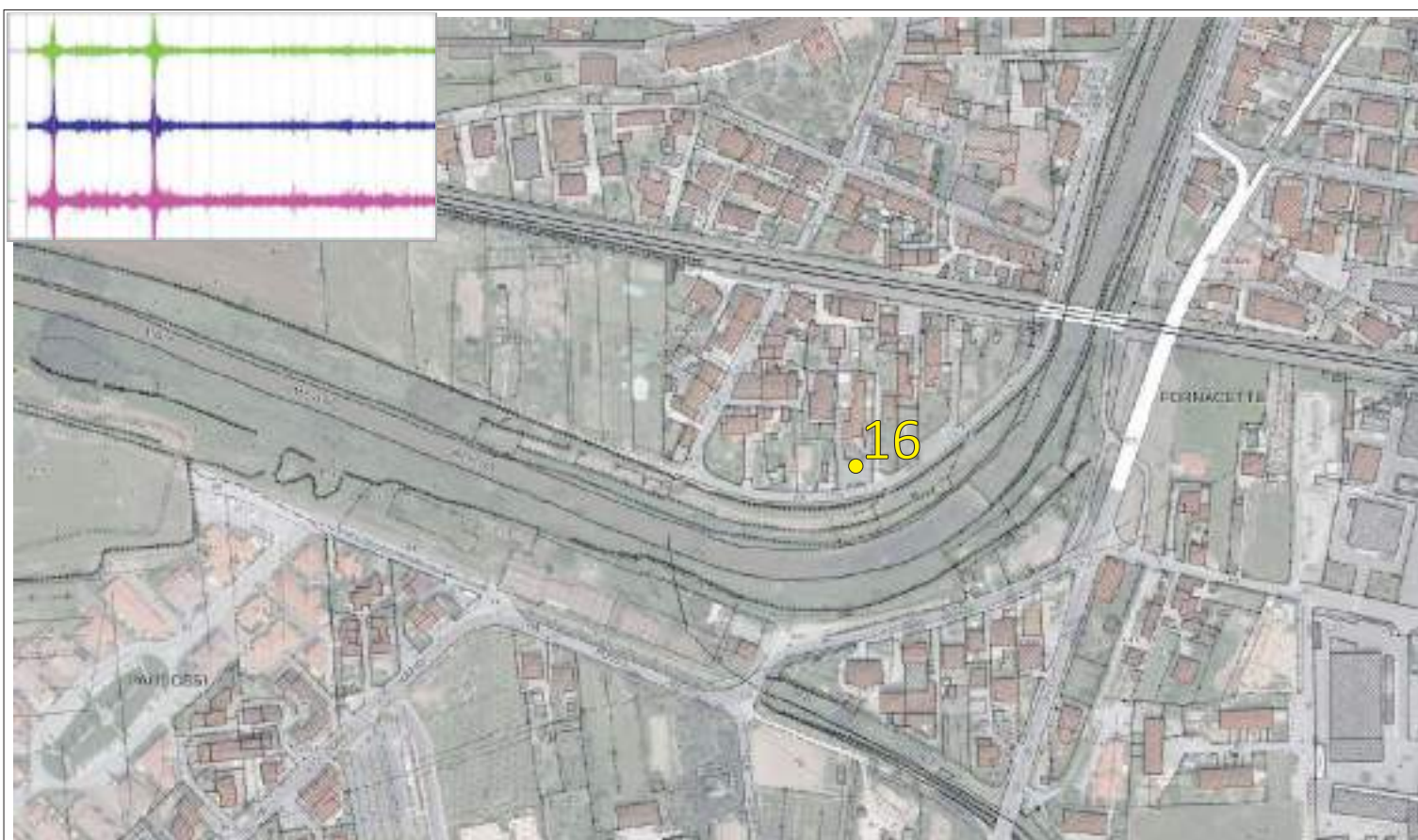
condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: traffico intenso

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 16



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6679201 - 10.5790166

orientazione strumento: N

contesto globale: abitato

contesto locale: area a parcheggio

condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: traffico quasi assente

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 17



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6665183 - 10.5870726

orientazione strumento : N

contesto globale : bordo abitato

contesto locale : area a verde

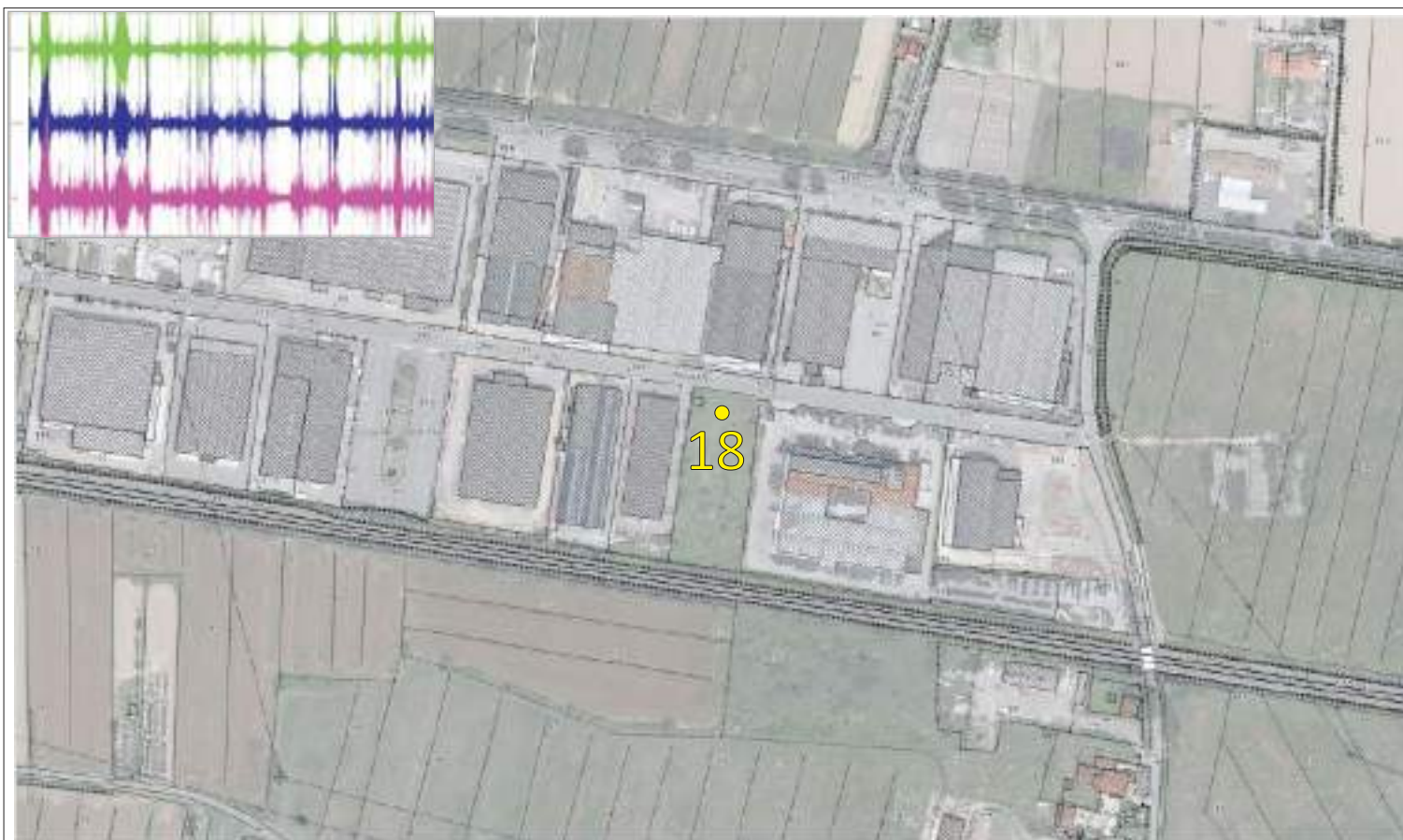
condizioni climatiche : nuvoloso

rumori/disturbi : traffico quasi assente

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 18



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6667480 - 10.6018801

orientazione strumento: N

contesto globale: zona industriale

contesto locale: appezzamento a prato / incolto

condizioni climatiche: nuvoloso

rumori/disturbi: traffico scarso / ferrovia

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 19



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6368492 - 10.5754355

orientazione strumento: N

contesto globale: appezzamenti a prato/seminativo

contesto locale: stradello poderale fra i campi

condizioni climatiche: nuvoloso

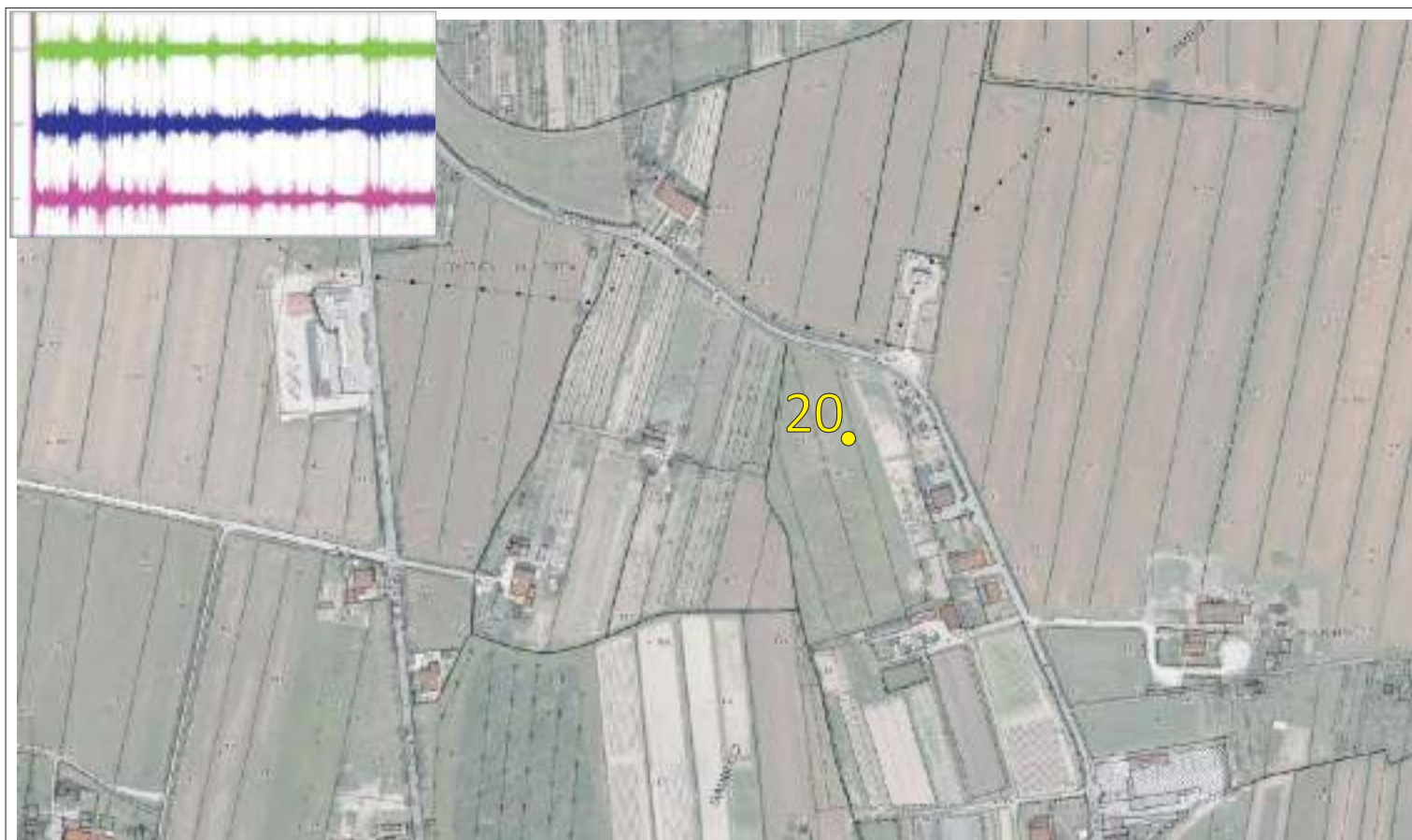
rumori/disturbi: traffico assente



# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 20



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6384895 - 10.6316660

orientazione strumento: N

contesto globale: campagna; appezzamenti a prato/seminativo

contesto locale: prato/incolto

condizioni climatiche: nuvoloso, vento debole

rumori/disturbi: traffico intermittente

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 21



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.7316025 - 10.6267733

orientazione strumento: N

contesto globale: bordo zona industriale

contesto locale: lato strada interna

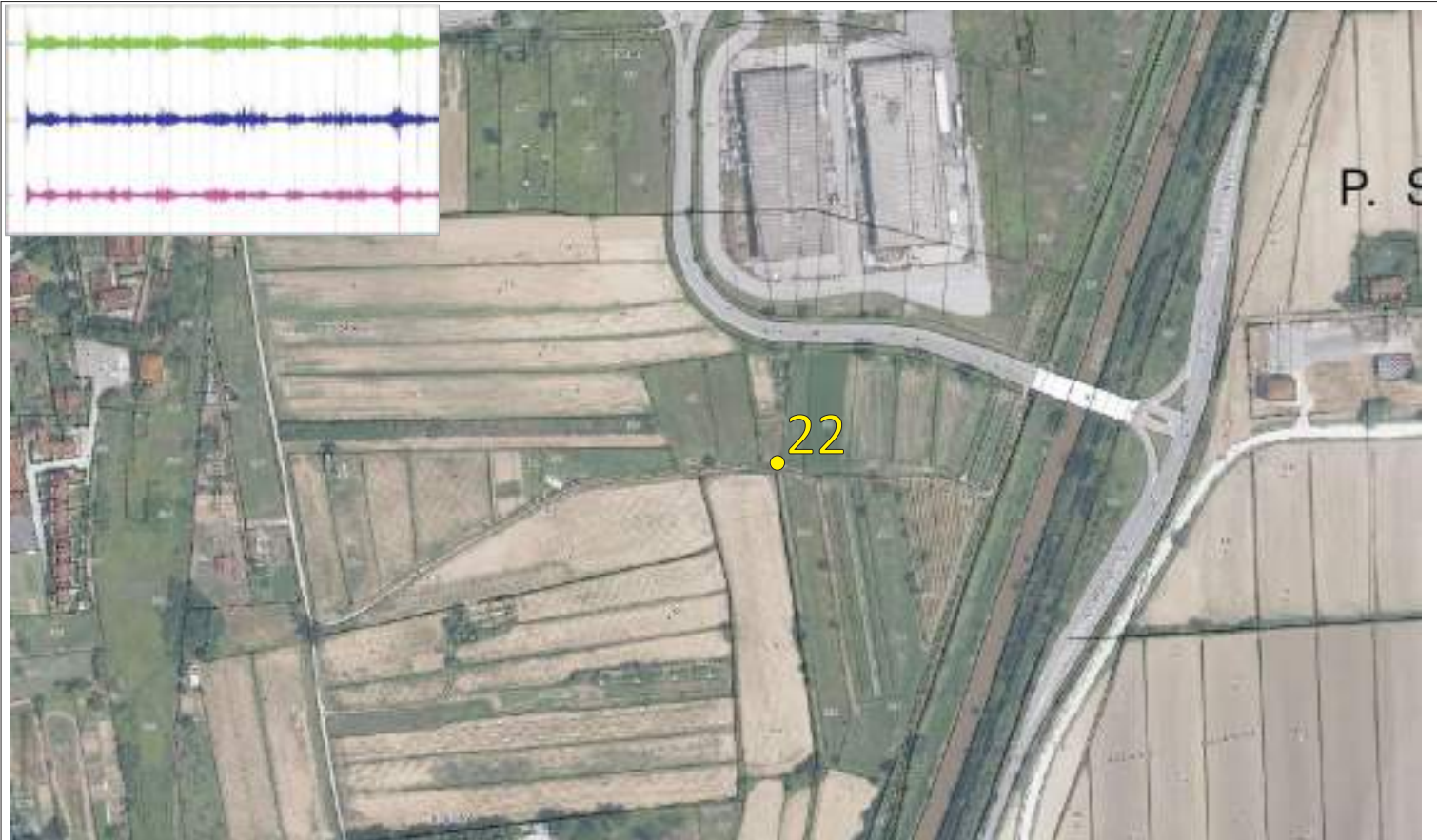
condizioni climatiche: sereno

rumori/disturbi: traffico assente

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 22



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.7282325 - 10.6248978

orientazione strumento : N

contesto globale : campagna ; appezzamenti a prato/seminativo

contesto locale : bordo stradello poderale

condizioni climatiche : quasi sereno

rumori/disturbi : traffico assente

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 23



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.7269842 - 10.6218749

orientazione strumento : N

contesto globale : campagna ; appezzamenti a prato/seminativo

contesto locale : stradello poderale

condizioni climatiche : variabile

rumori/disturbi : traffico assente

INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 24



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6746008 - 10.6273010

orientazione strumento: N

contesto globale: campagna; appezzamenti a prato/seminativo

contesto locale: prato bordo stradello poderale

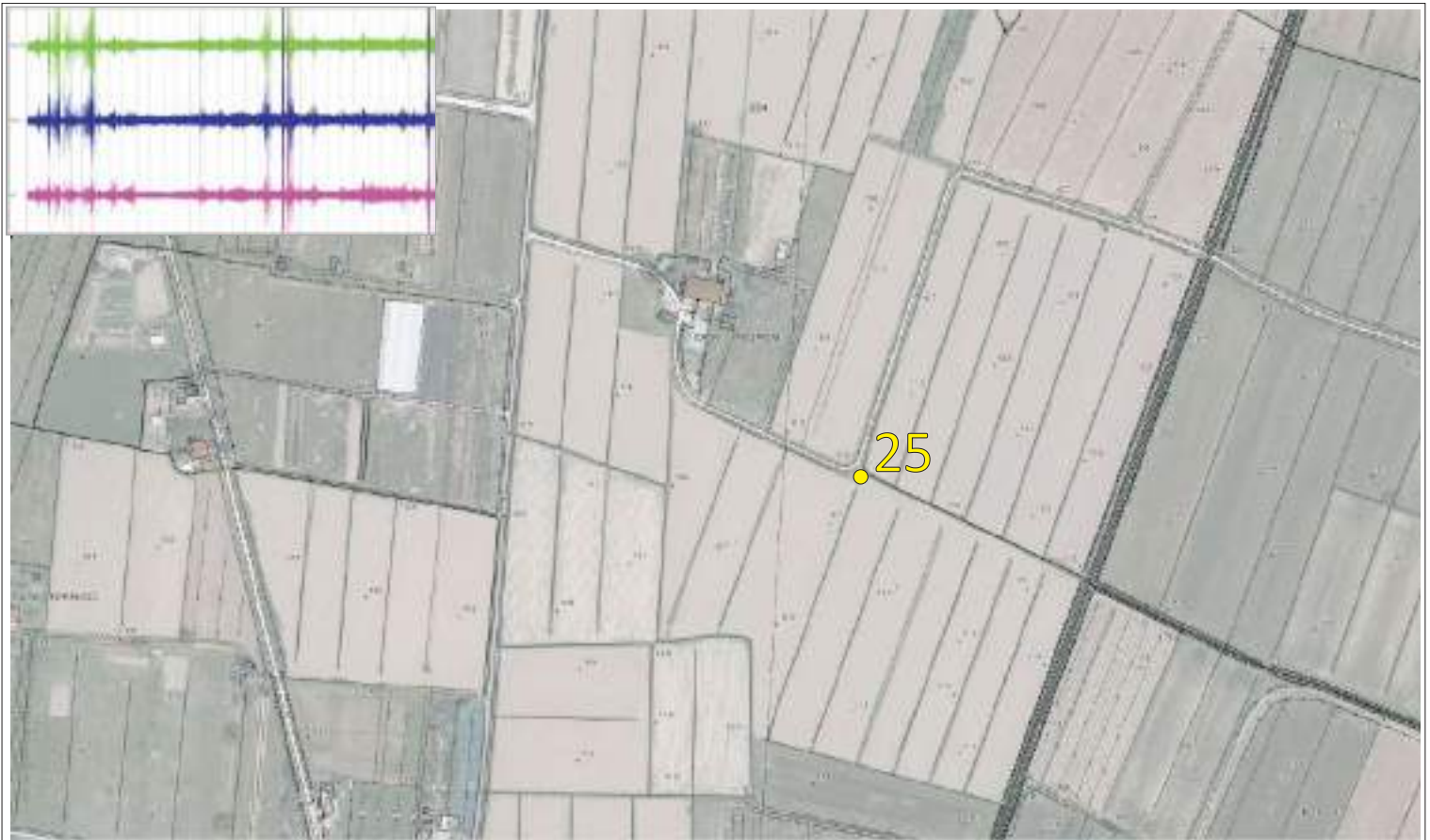
condizioni climatiche: sereno

rumori/disturbi: traffico assente

# INDAGINE HVSR INTEGRATIVA VALDERA - STAZIONE N. 25



documentazione fotografica



ubicazione su fotosat / CTR scala 1:4.000

coordinate: 43.6946286 - 10.6101456

orientazione strumento: N

contesto globale: campagna; appezzamenti a prato/seminativo

contesto locale: limite stradello poderale

condizioni climatiche: sereno

rumori/disturbi: traffico assente

## CALCINAIA2019, TROMO 01

Strumento: TRZ-0158/01-11

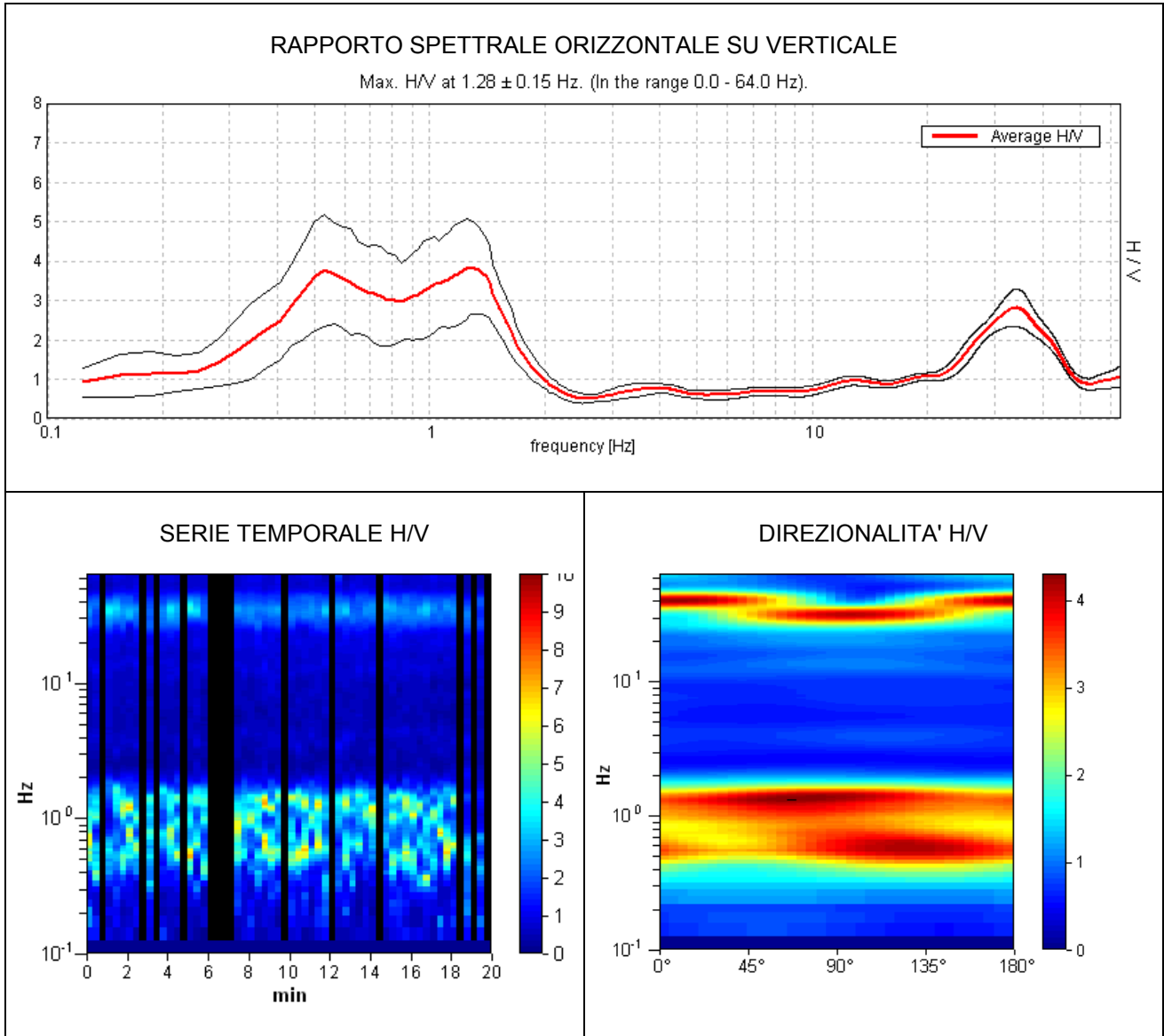
Inizio registrazione: 15/12/19 12:31:41 Fine registrazione: 15/12/19 12:51:40

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

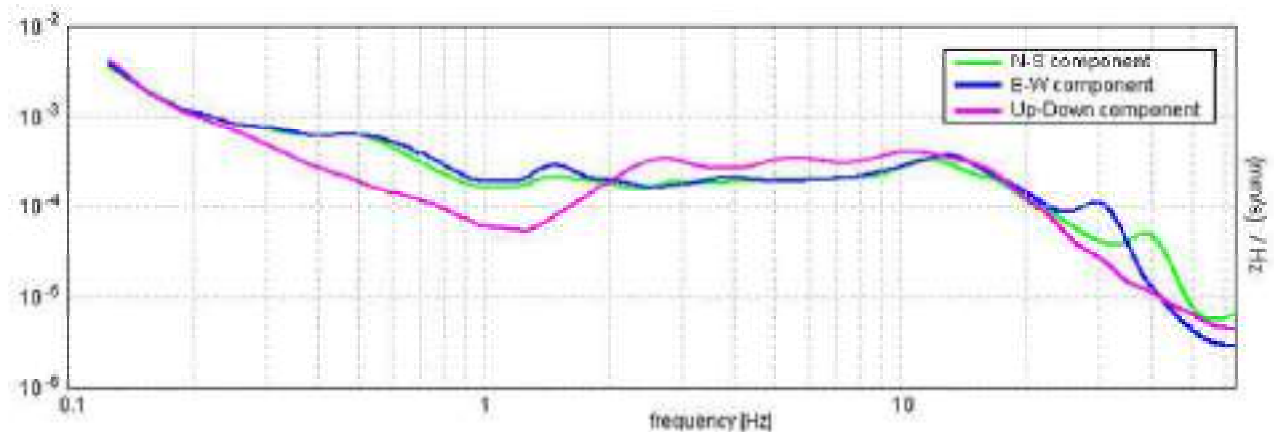
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.28 \pm 0.15$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.28 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1178.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 62	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.313 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.83 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05613  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07192 < 0.12813$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5819 < 1.78$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## CALCINAIA2019, TROMO 02

Strumento: TRZ-0158/01-11

Inizio registrazione: 15/12/19 13:01:30 Fine registrazione: 15/12/19 13:21:29

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

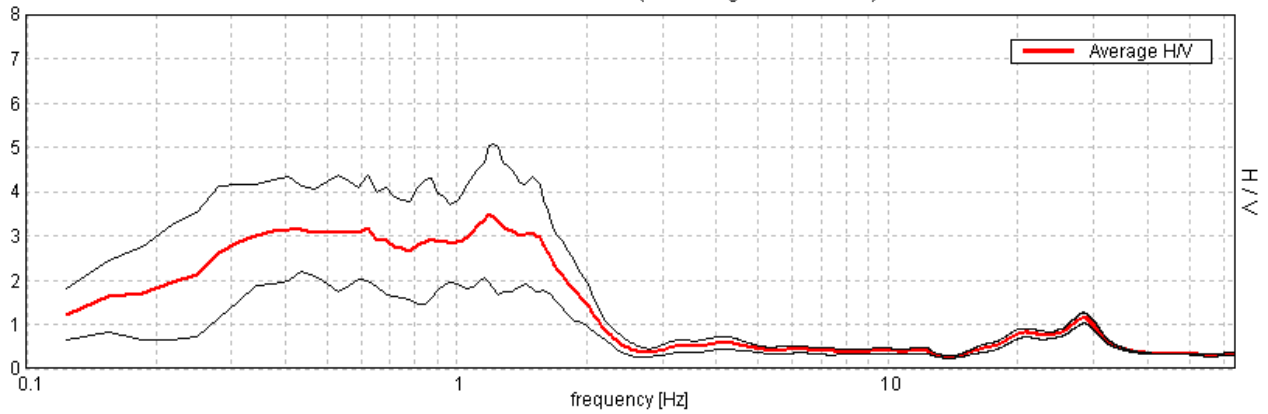
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 65% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

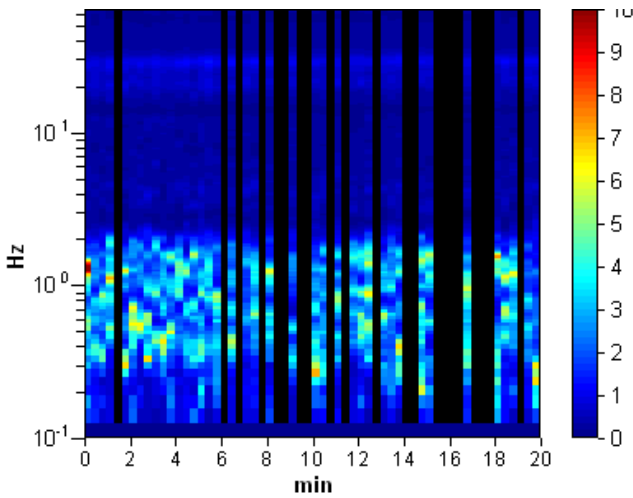
Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

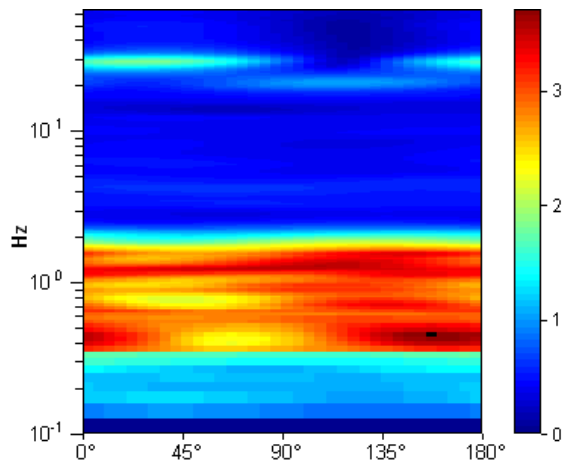
Max. H/V at 1.19 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



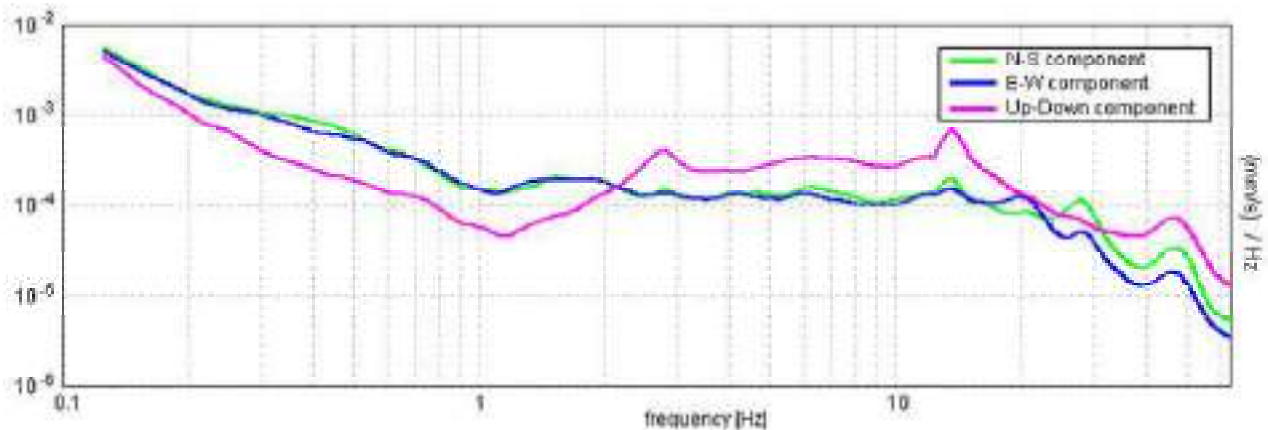
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.19 \pm 0.05$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.19 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$926.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 58	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.49 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02103  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02497 < 0.11875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7472 < 1.78$	OK	

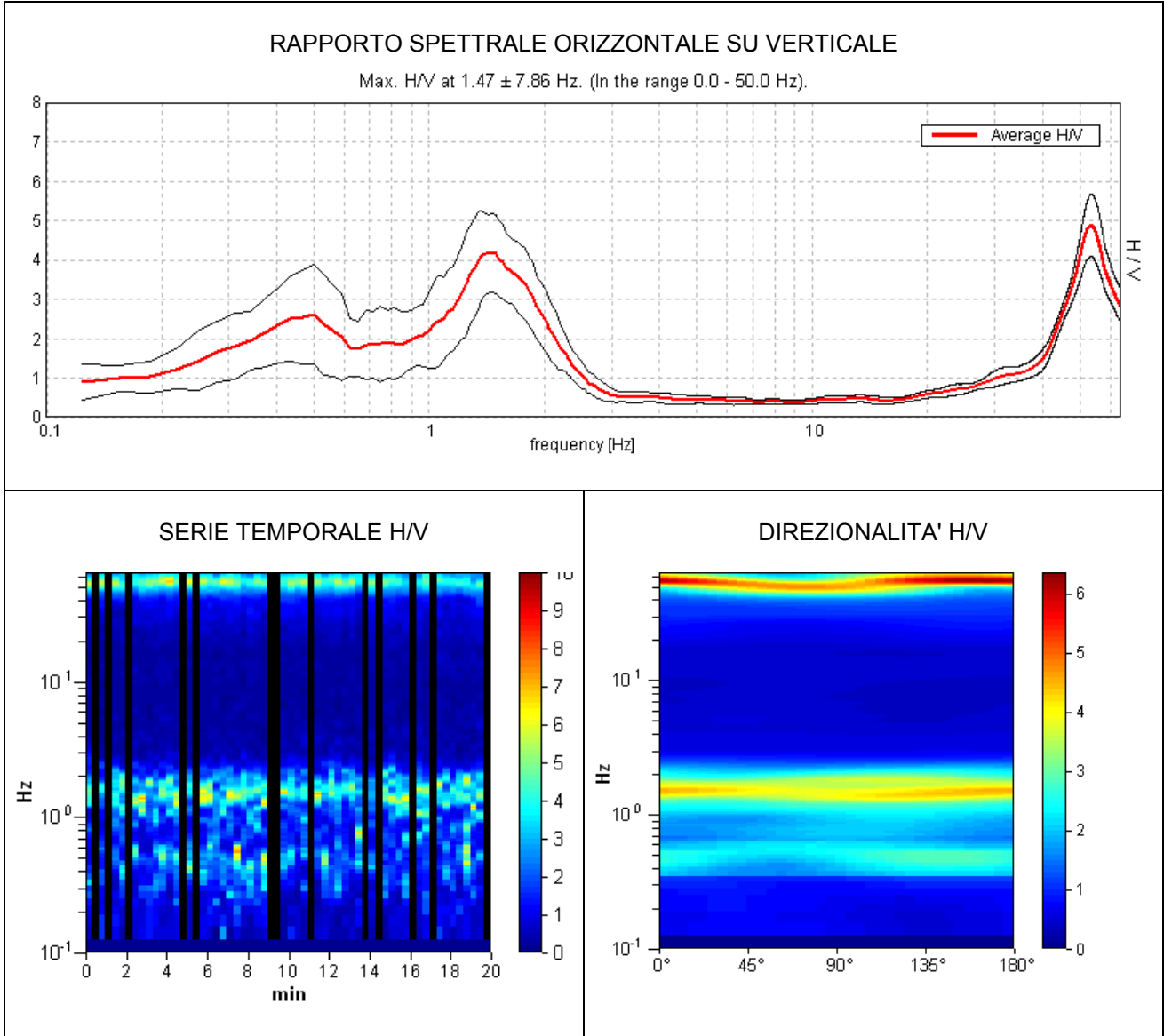
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

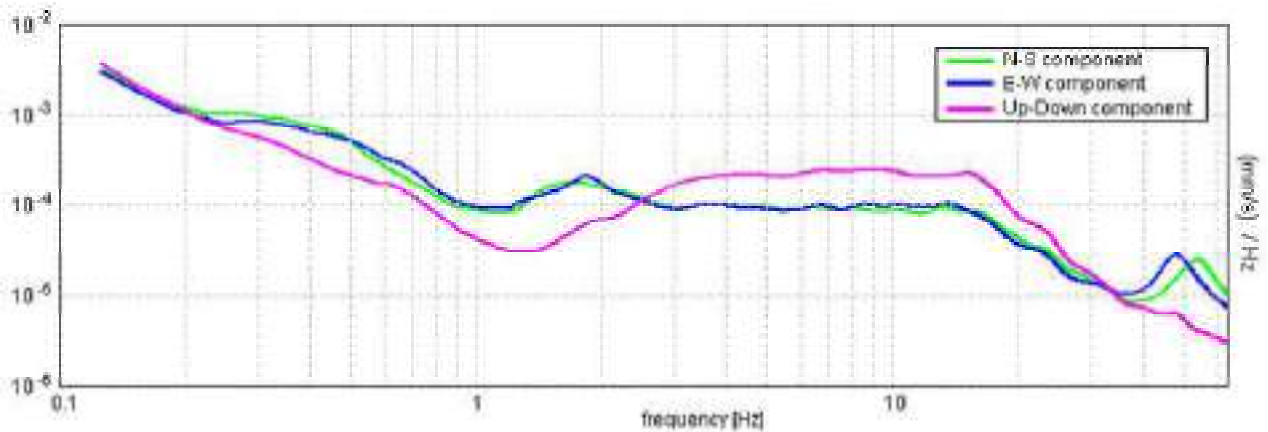
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA2019, TROMO 03**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 15/12/19 13:59:22 Fine registrazione: 15/12/19 14:19:21  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 78% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.47 \pm 7.86$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.47 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$1380.6 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 72	<b>OK</b>	
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.969 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.125 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$4.18 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 2.63051  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.86356 < 0.14688$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4844 < 1.78$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## CALCINAIA2019, TROMO4

Strumento: TRZ-0158/01-11

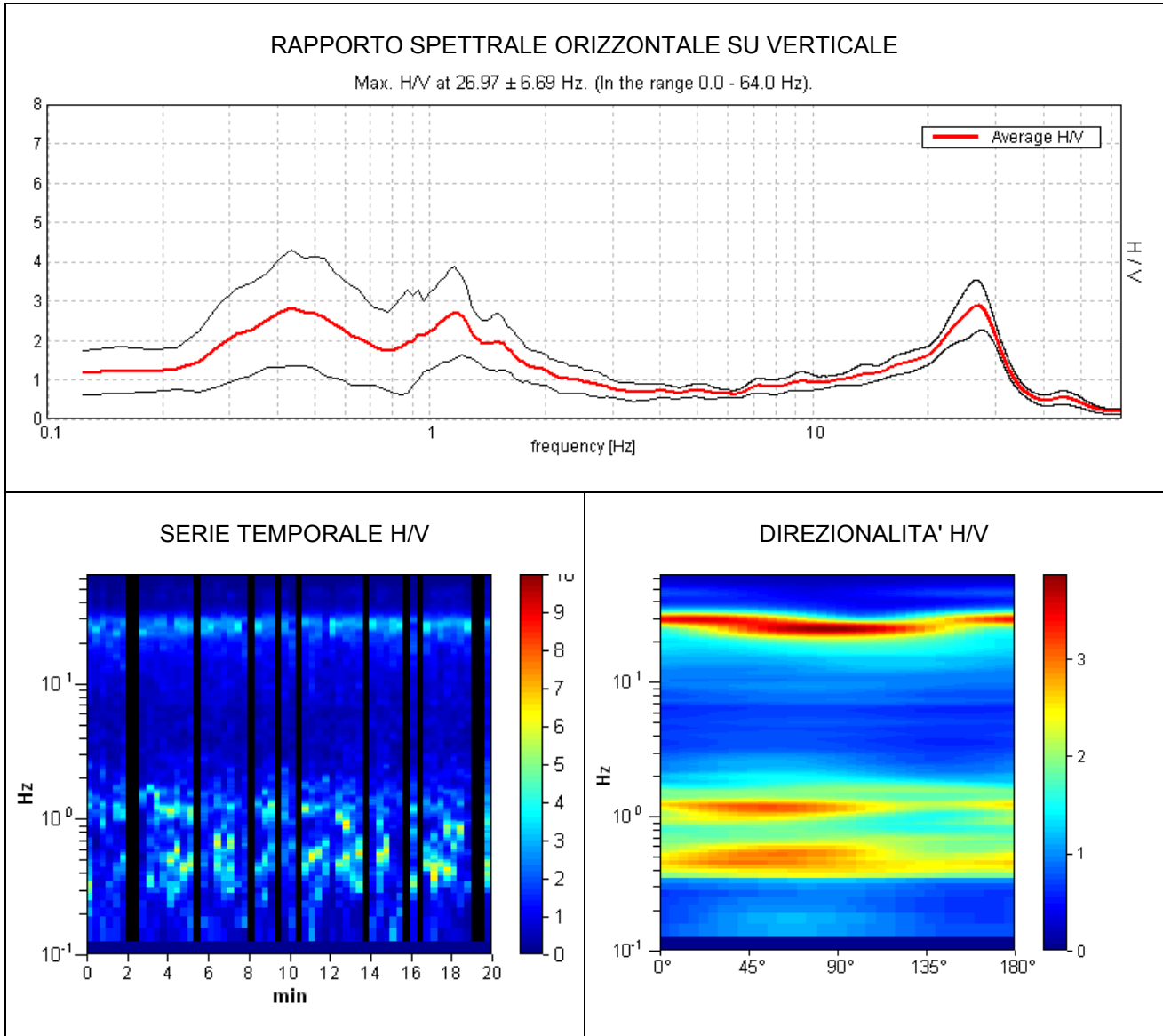
Inizio registrazione: 15/12/19 16:22:17 Fine registrazione: 15/12/19 16:42:16

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

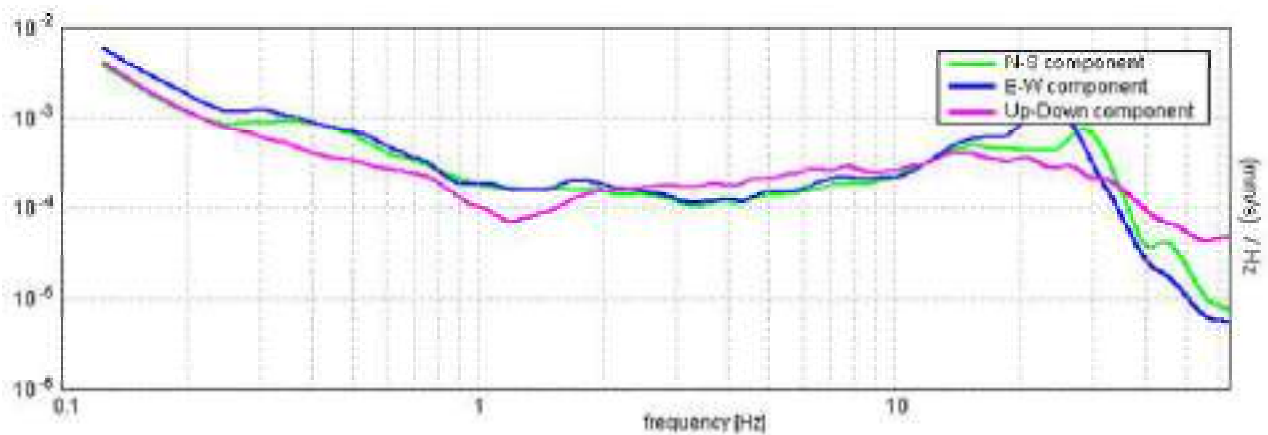
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $26.97 \pm 6.69$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$26.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$26429.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1296	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	17.656 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	31.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.88 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12213  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.2938 < 1.34844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3142 < 1.58$	OK	

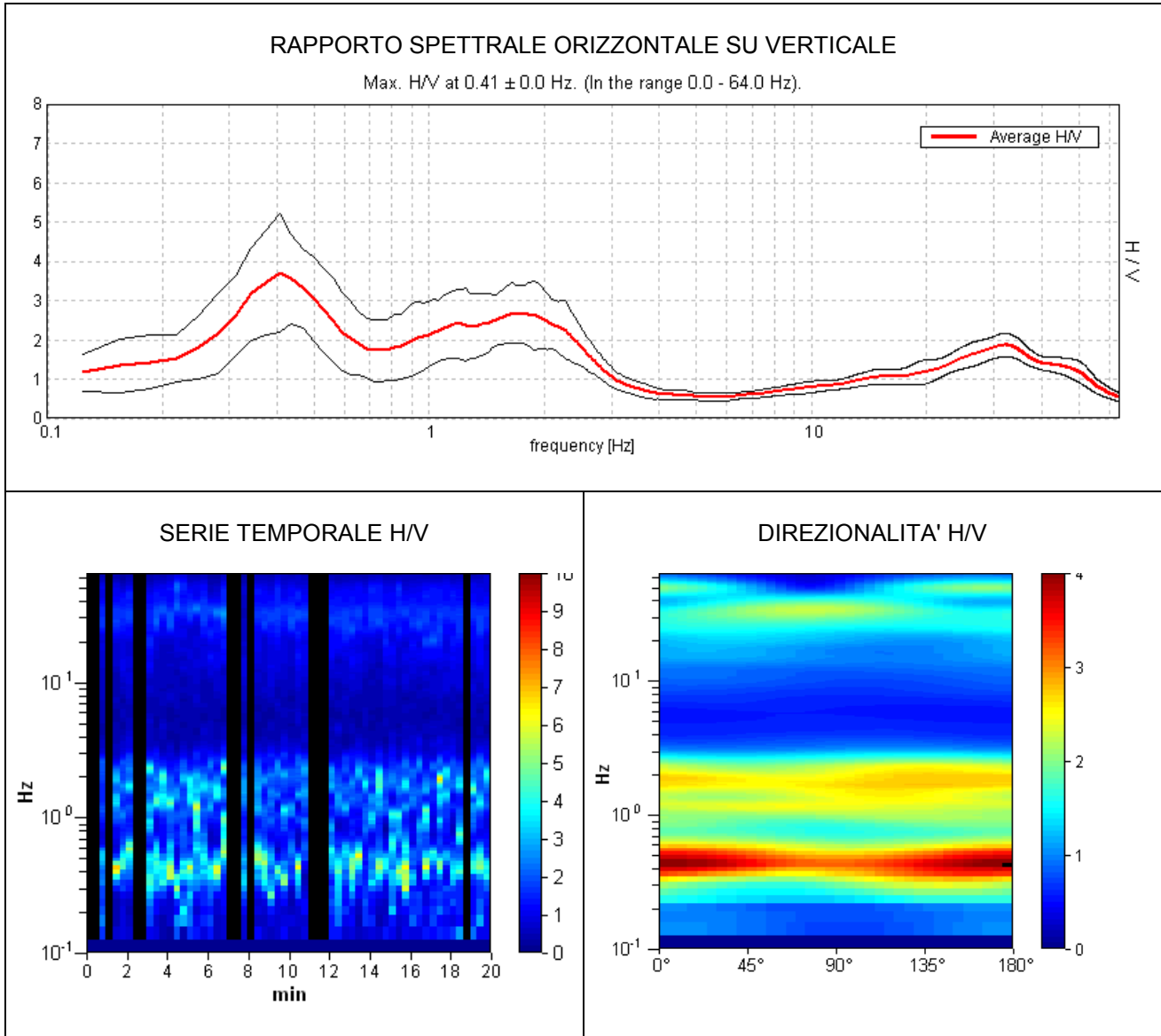
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

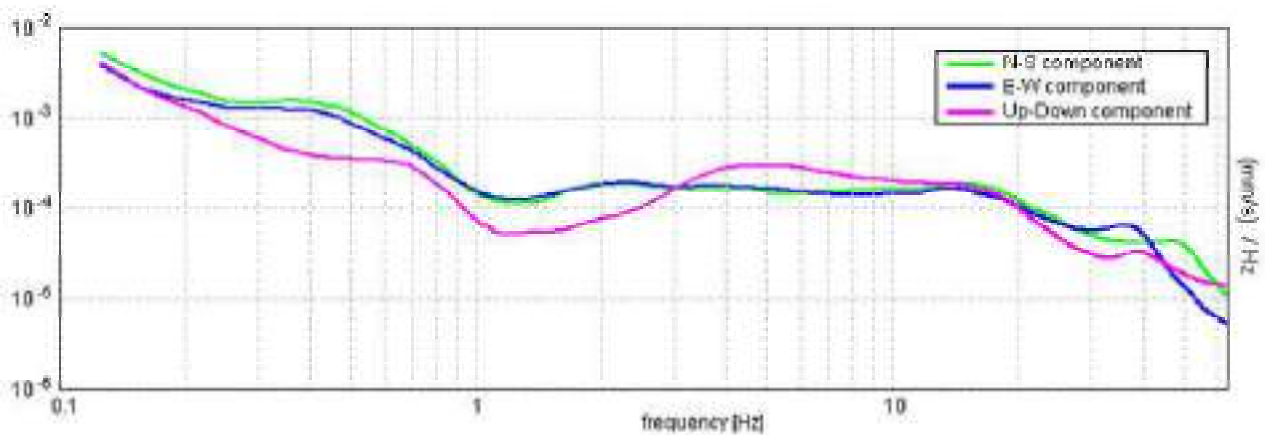
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA2019, TROMO 05**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 14/12/19 17:51:12 Fine registrazione: 14/12/19 18:11:11  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.41 \pm 0.0$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.41 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$390.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 20	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.688 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.71 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00481  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00195 < 0.08125$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7435 < 2.5$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

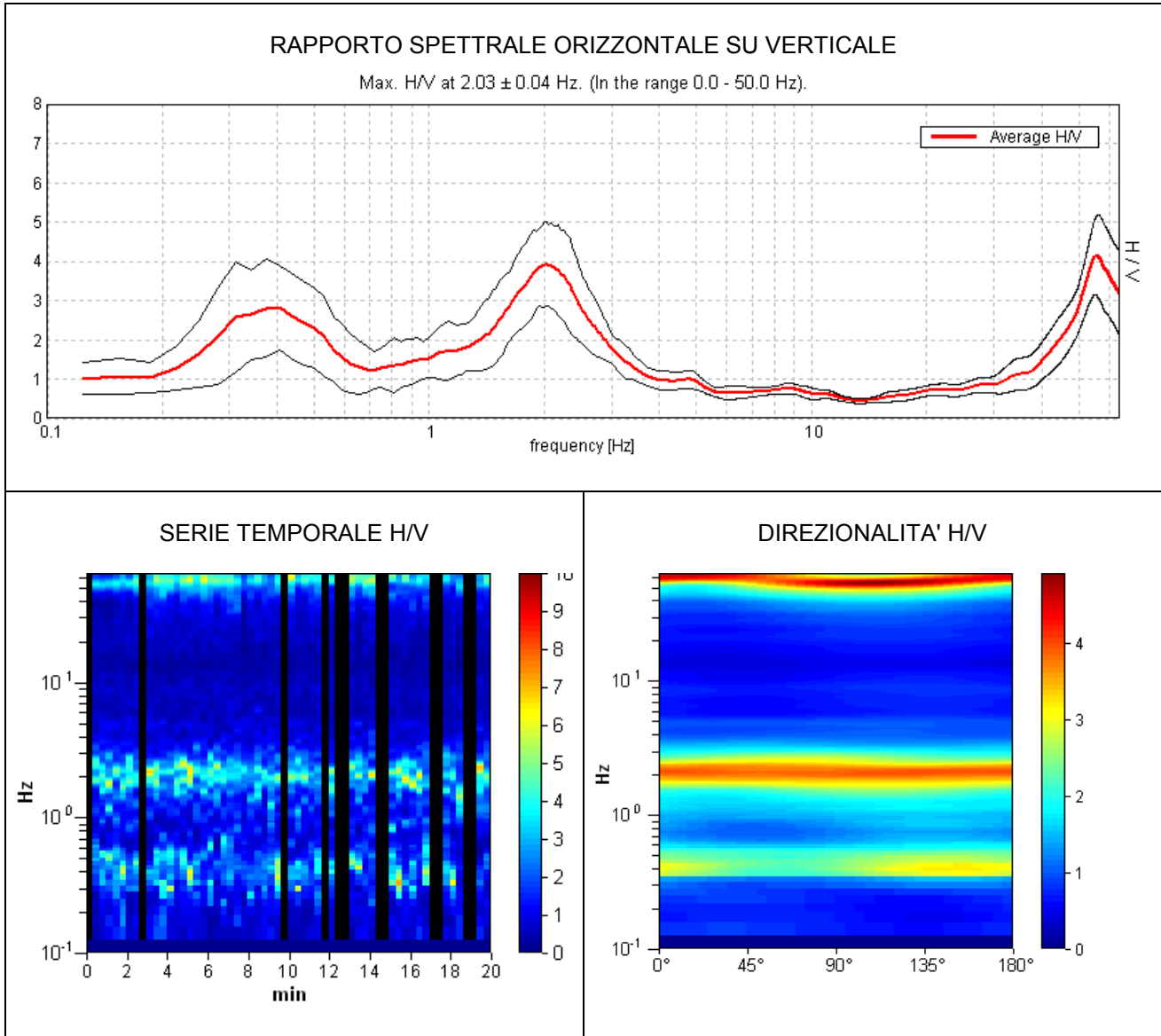
Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

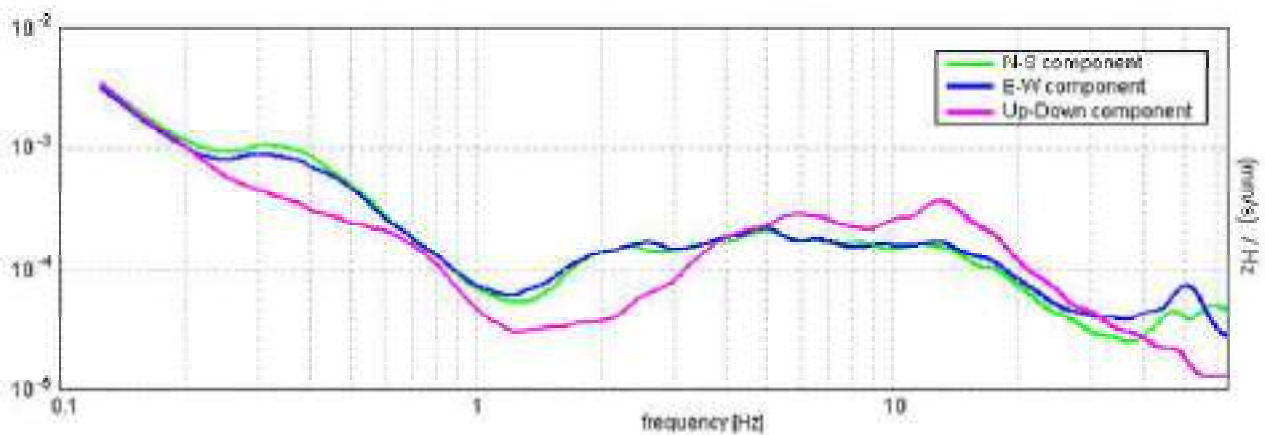


**CALCINAIA2019, TROMO 06**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 15/12/19 16:49:45 Fine registrazione: 15/12/19 17:09:44  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $2.03 \pm 0.04$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.03 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1950.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 98	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.313 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.92 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01036  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02105 < 0.10156$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.526 < 1.58$	OK	

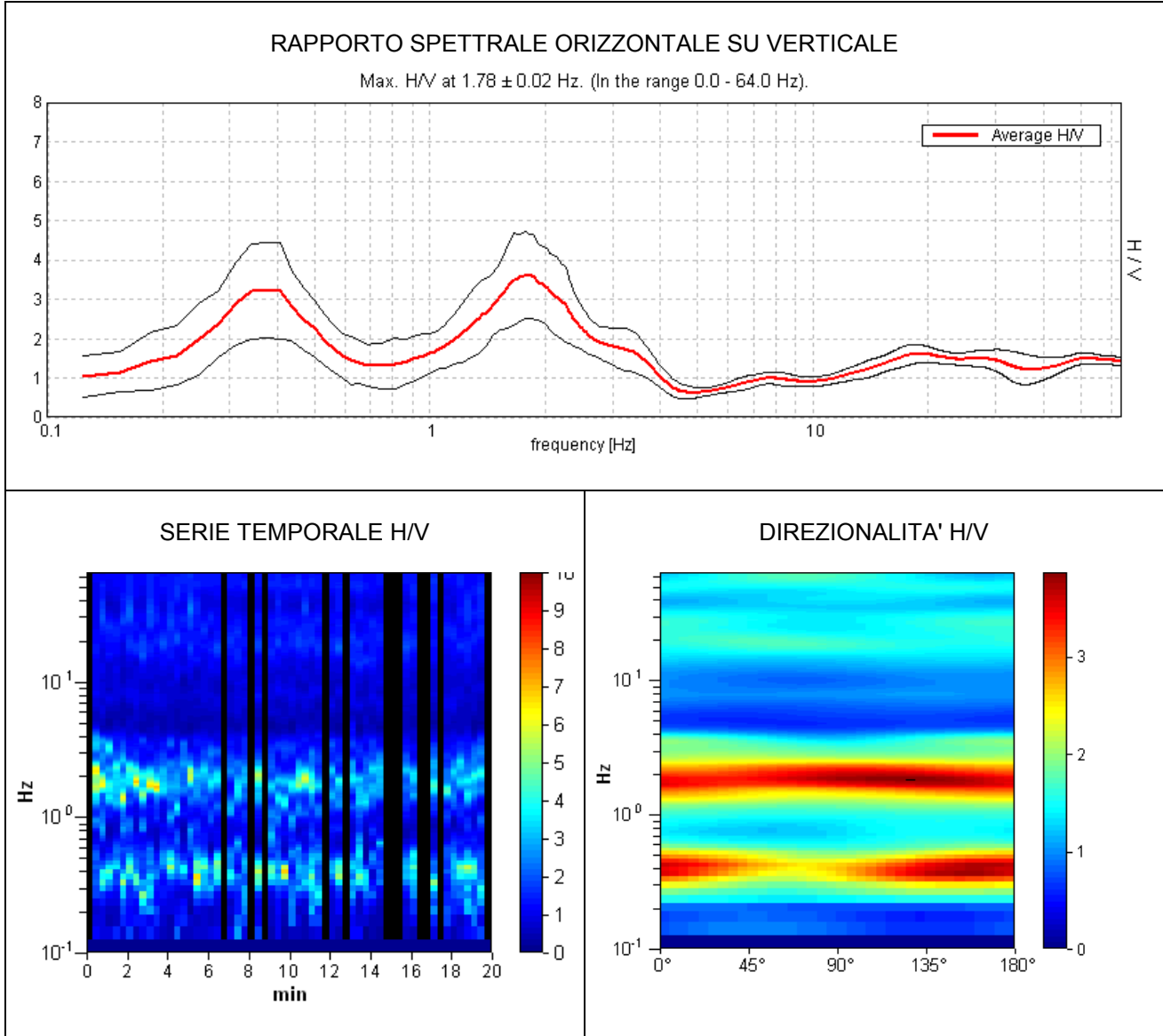
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

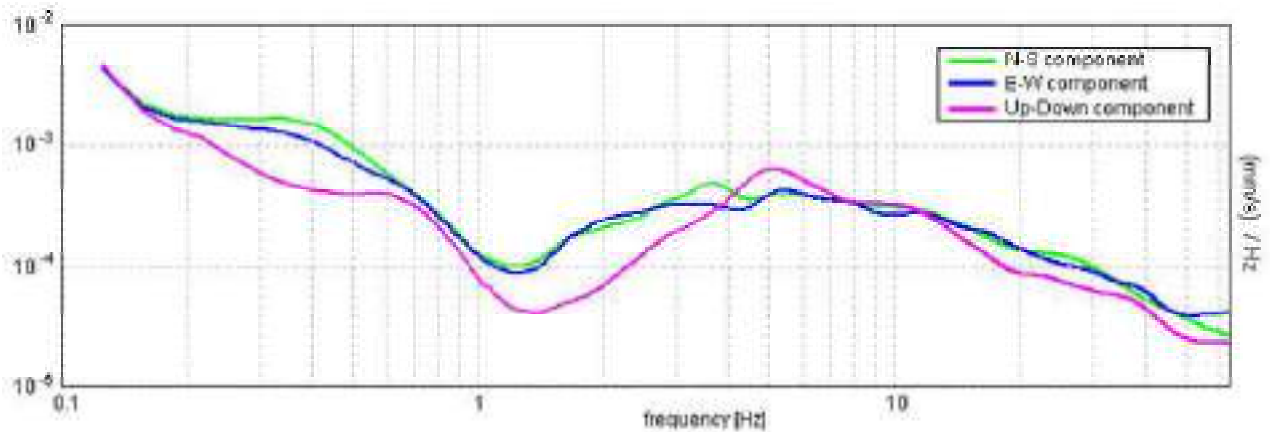
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA2019, TROMO 07**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 14/12/19 16:43:46 Fine registrazione: 14/12/19 17:03:45  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 78% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.78 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1674.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 86	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.094 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.61 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.006  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01068 < 0.17813$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5413 < 1.78$	OK	

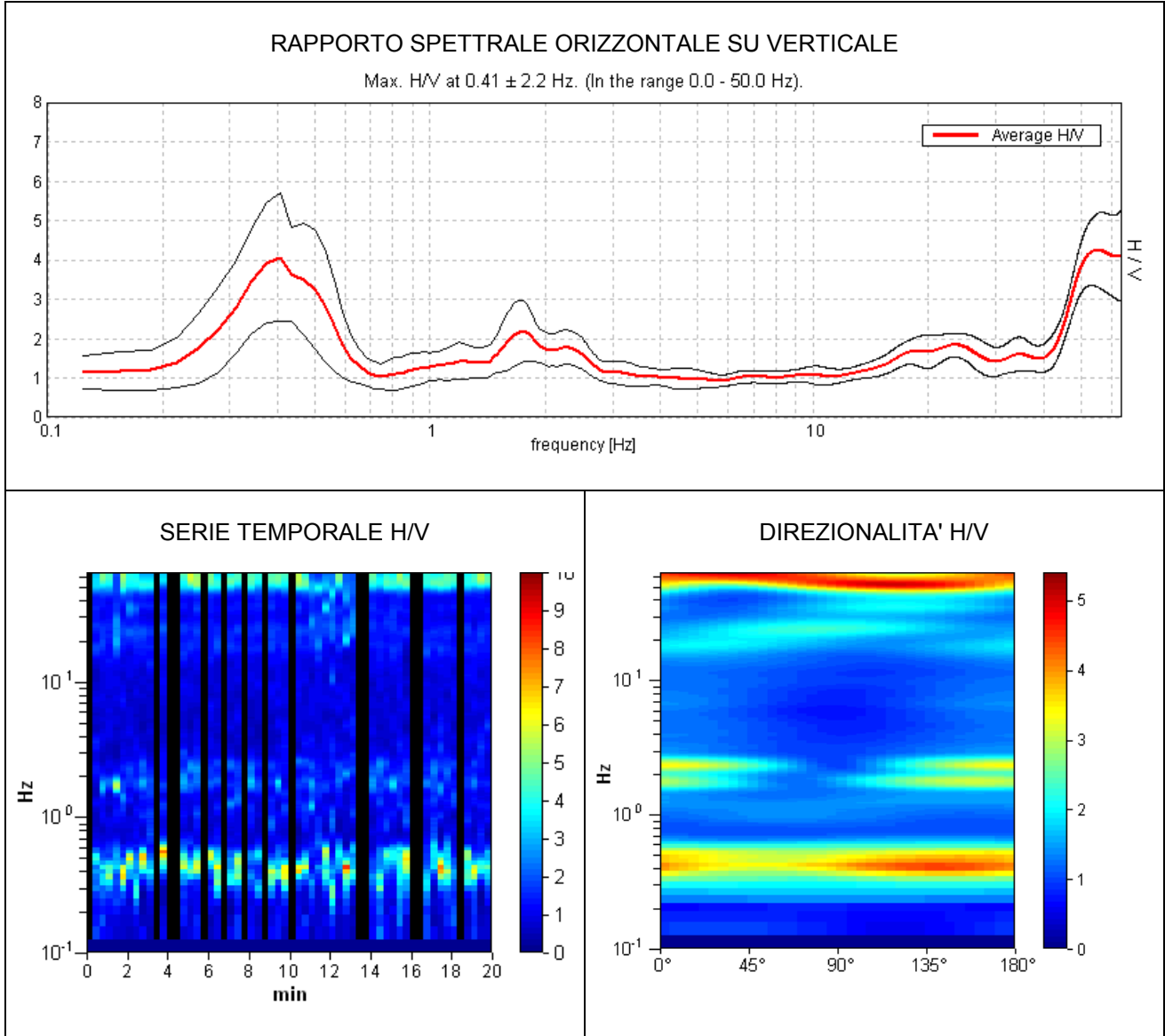
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

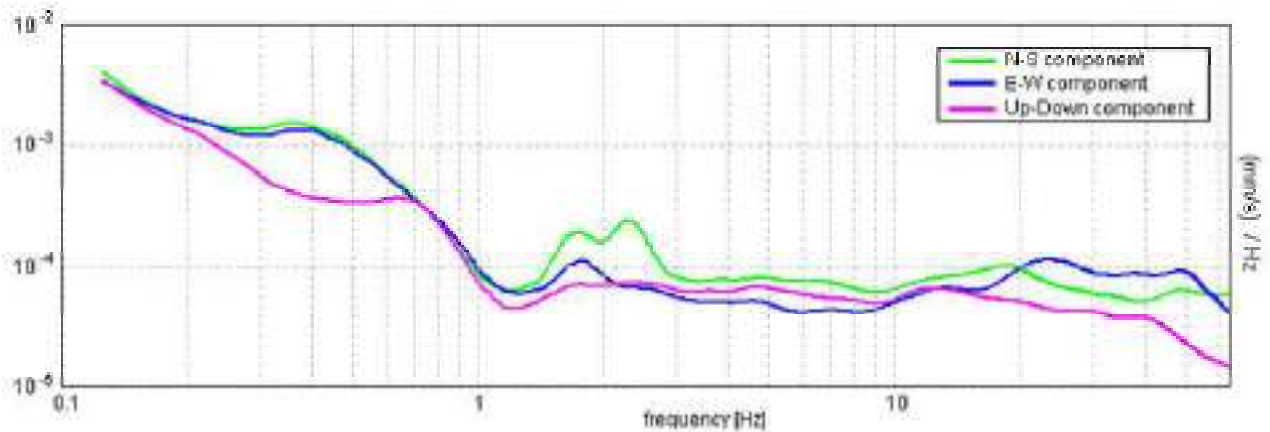
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA2019, TROMO 08**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 14/12/19 17:19:56 Fine registrazione: 14/12/19 17:39:55  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.41 \pm 2.2$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.41 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$373.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 20	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.594 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$4.06 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 2.65385  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.07813 < 0.08125$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8044 < 2.5$	<b>OK</b>	

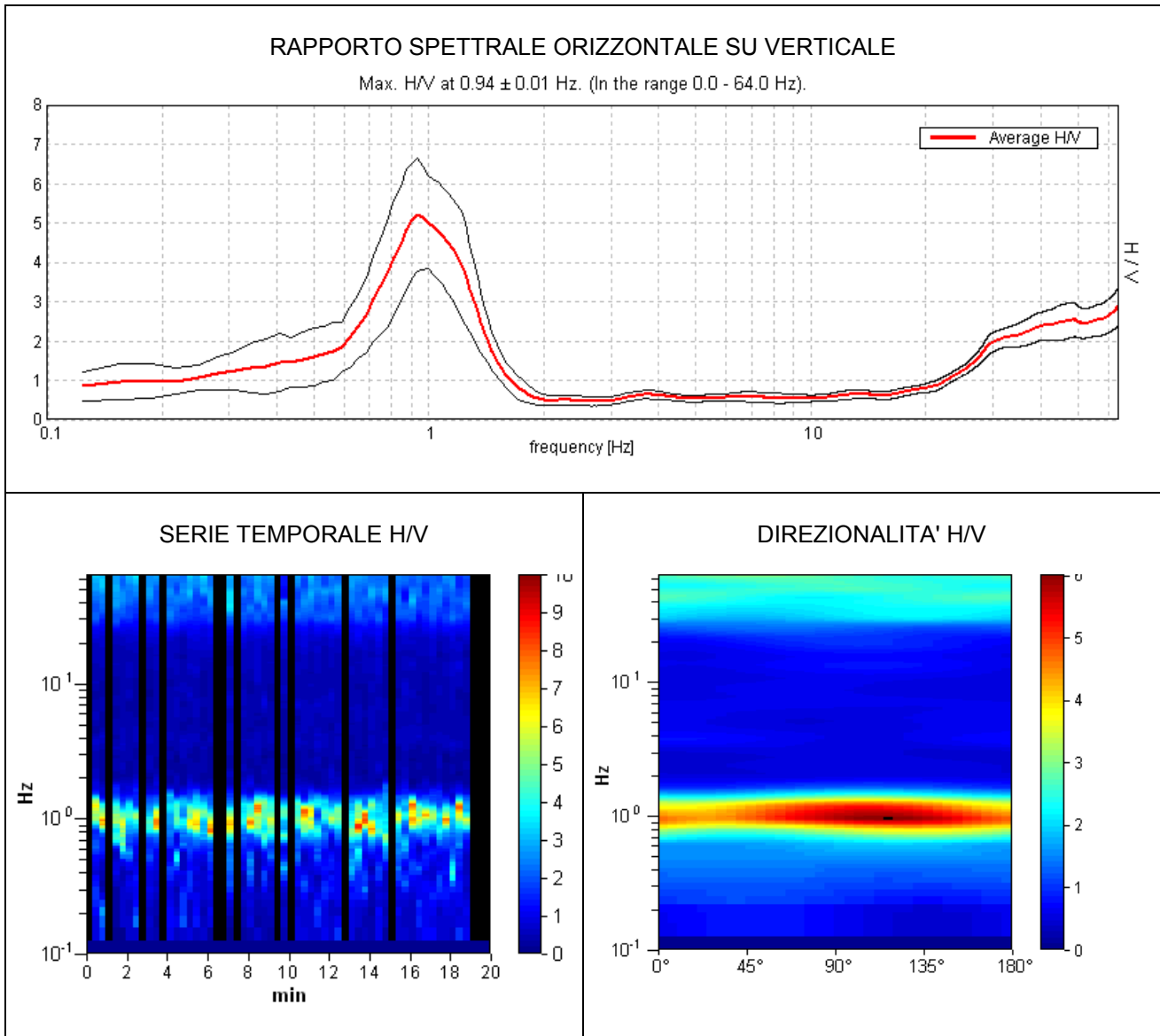
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

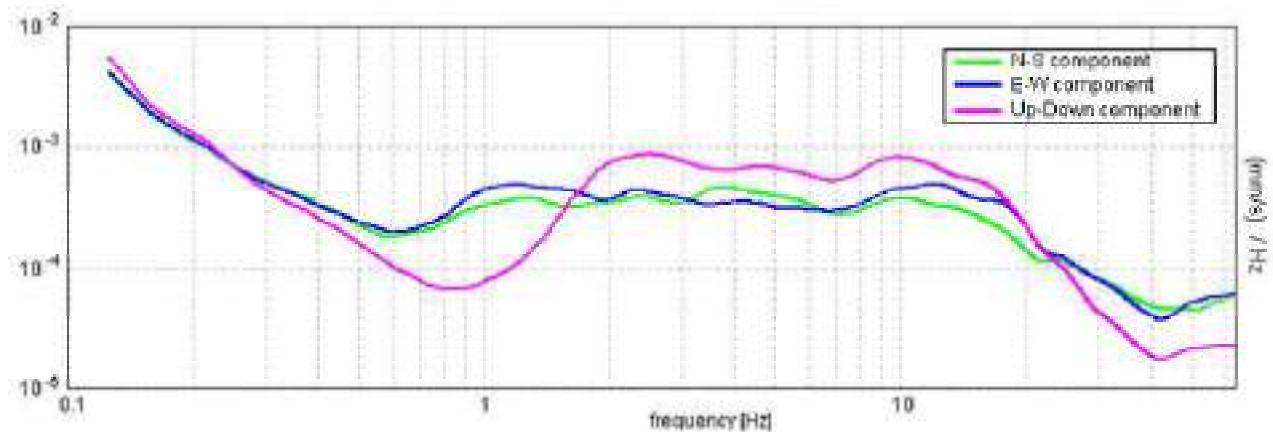
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA 2019, TROMO 09**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 18/12/19 10:36:39 Fine registrazione: 18/12/19 10:56:38  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.94 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$862.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 46	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.656 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.21 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00656  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00615 < 0.14063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7138 < 2.0$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

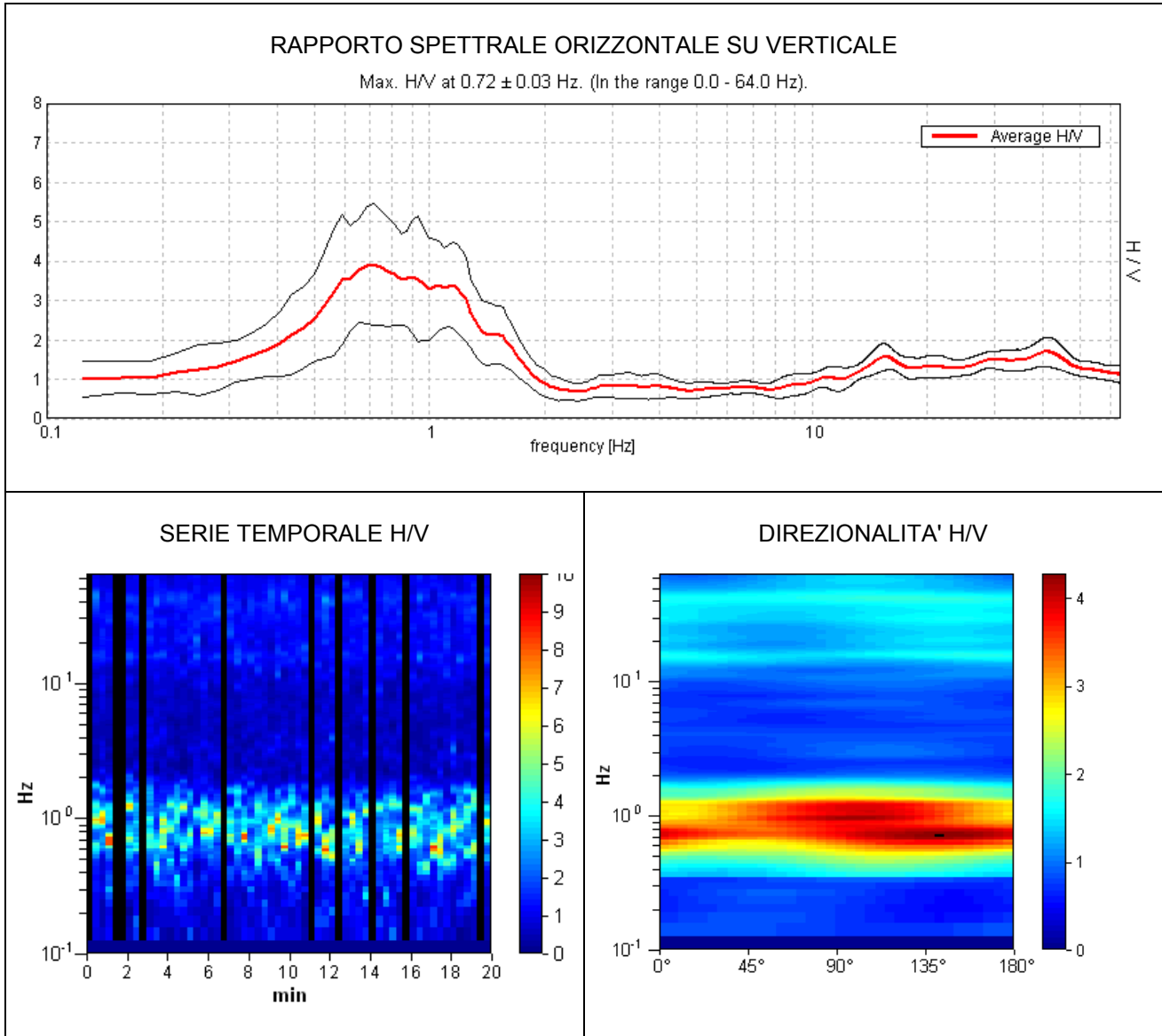
Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

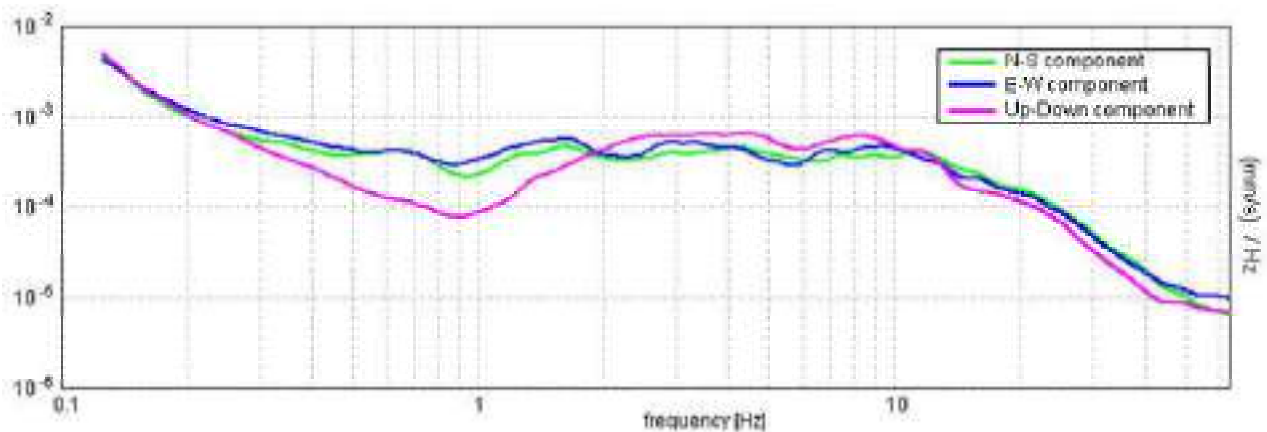


**CALCINAIA 2019, TROMO 10**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 18/12/19 11:11:53 Fine registrazione: 18/12/19 11:31:52  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.72 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.72 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$718.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 36	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.406 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.91 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02232  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01604 < 0.10781$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7659 < 2.0$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## CALCINAIA2019, TROMO 11

Strumento: TRZ-0158/01-11

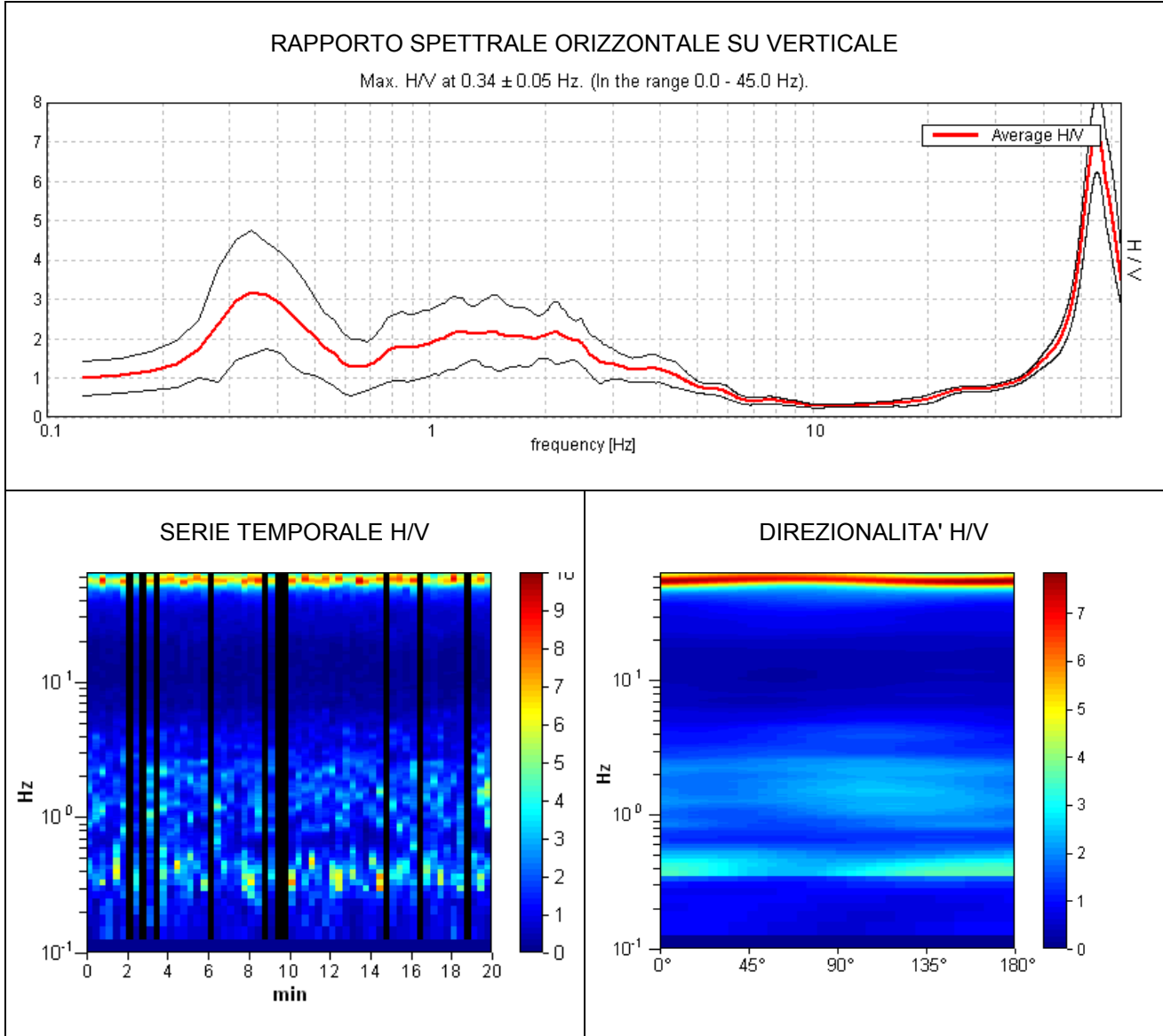
Inizio registrazione: 15/12/19 17:21:40 Fine registrazione: 15/12/19 17:41:39

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

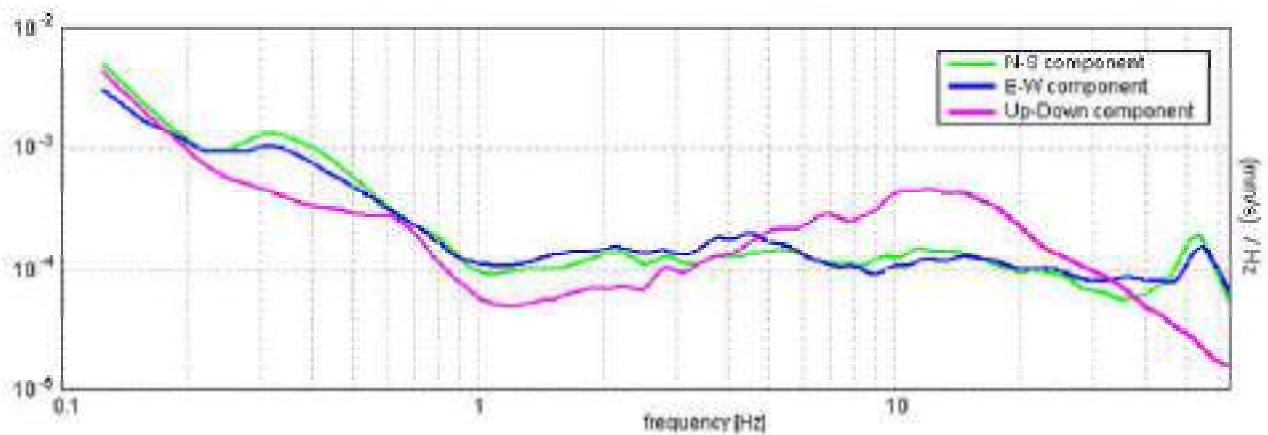
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.34 \pm 0.05$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 45.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.34 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$343.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 18	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.594 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.18 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07505  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0258 < 0.06875$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.776 < 2.5$	<b>OK</b>	

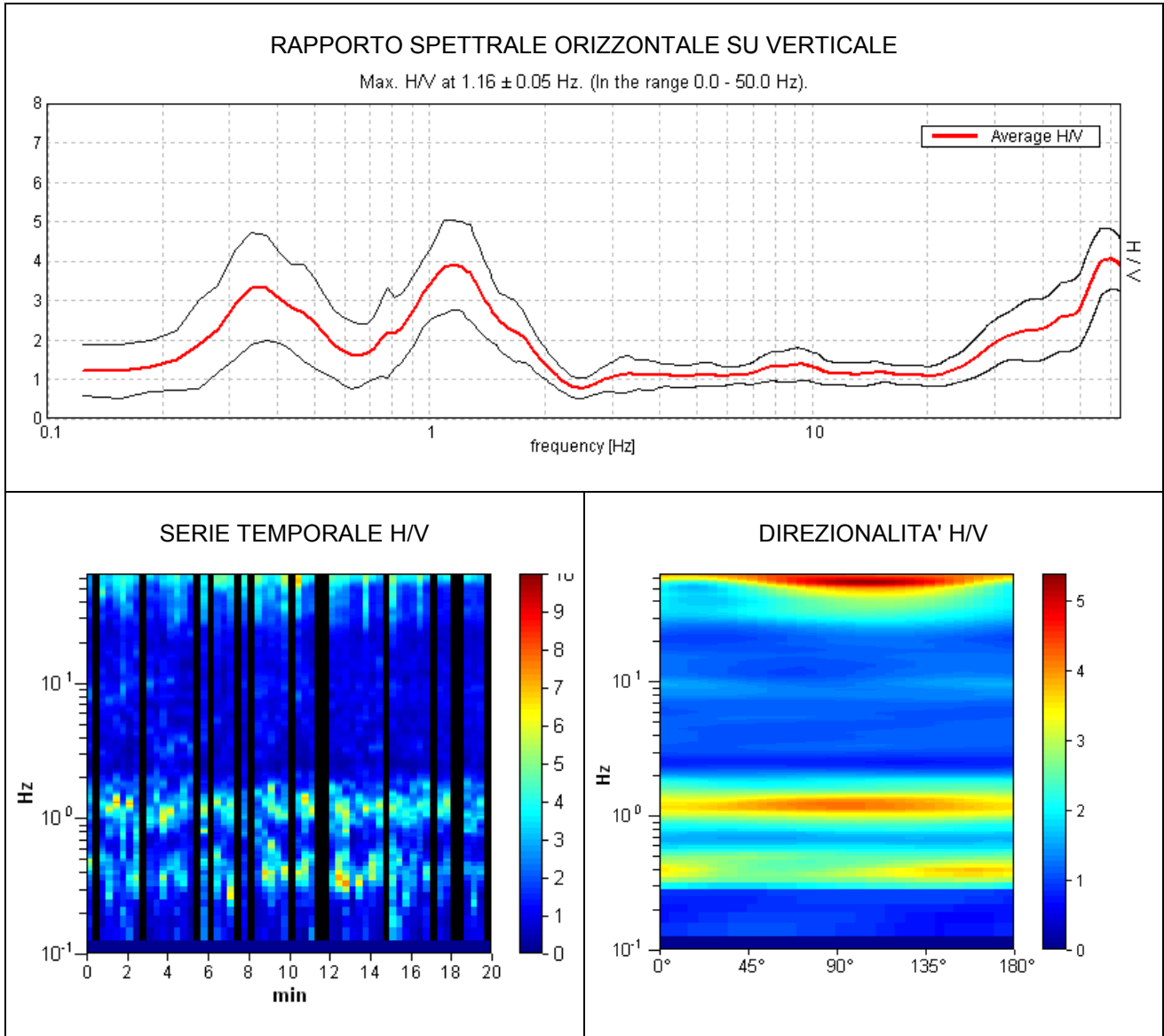
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

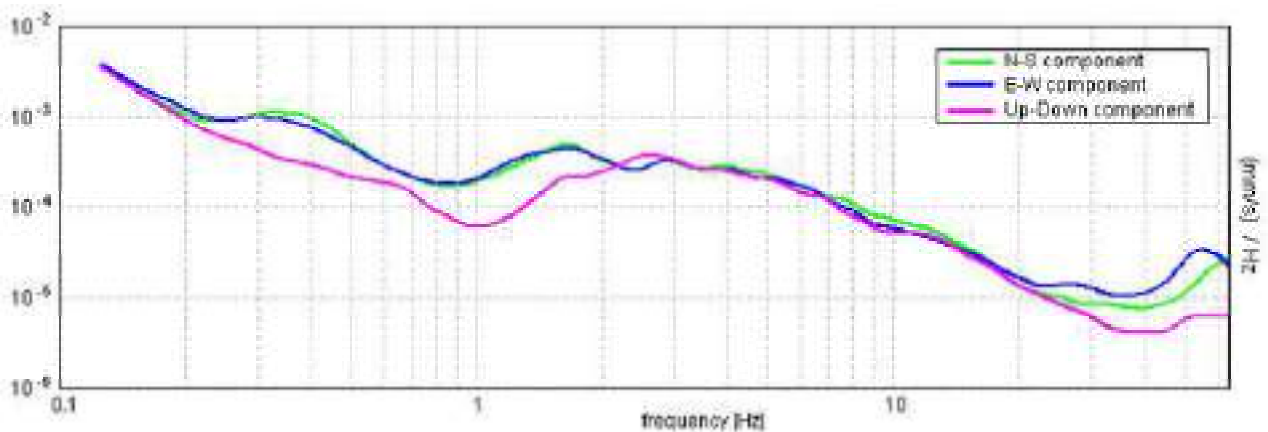
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

### CALCINAIA 2019, TROMO 12

Strumento: TRZ-0158/01-11  
Inizio registrazione: 18/12/19 14:00:02 Fine registrazione: 18/12/19 14:20:01  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 77% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 12%



#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.16 \pm 0.05$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.16 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1063.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 56	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.719 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.89 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02267  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02621 < 0.11563$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.56 < 1.78$	OK	

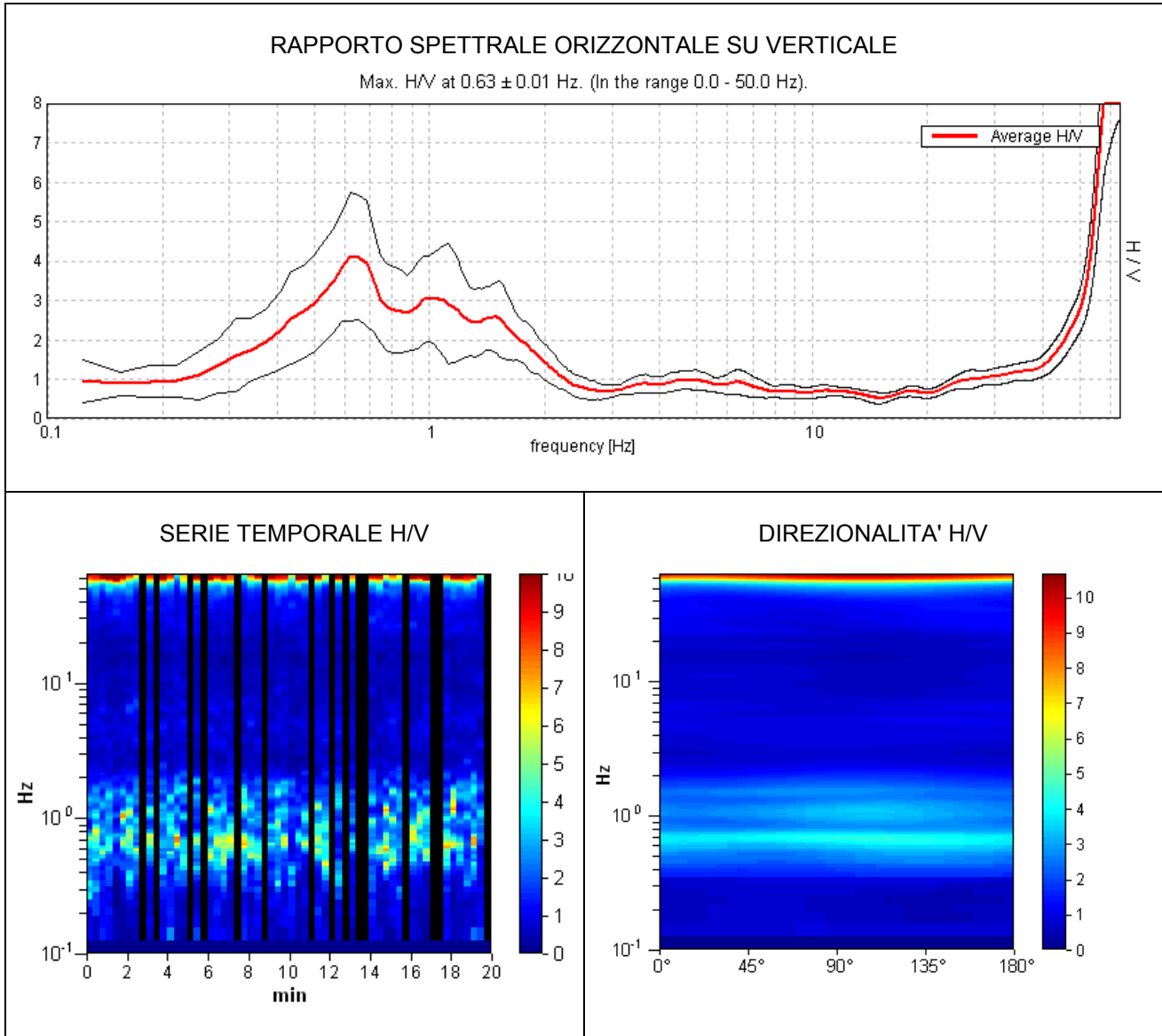
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

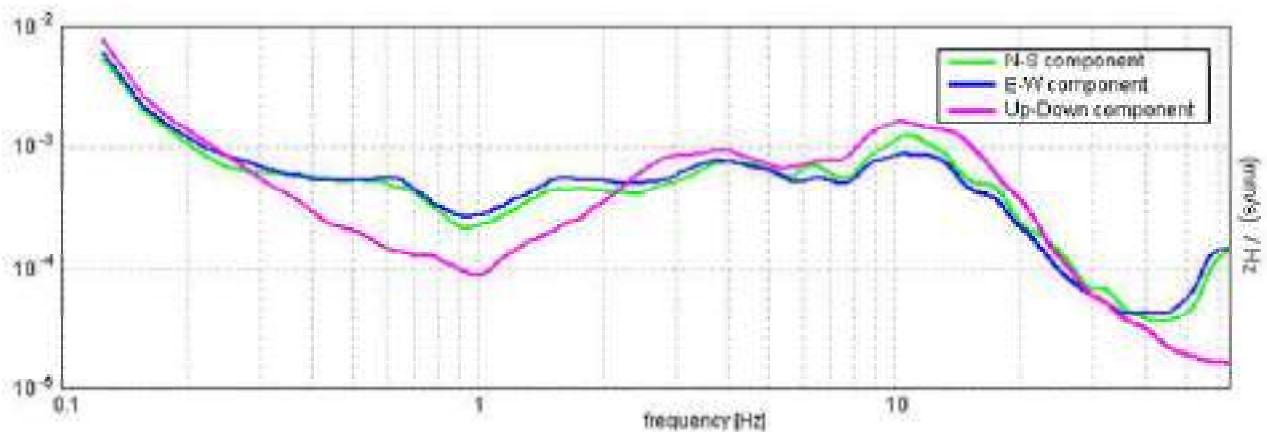
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA 2019, TROMO 13**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 18/12/19 11:46:08 Fine registrazione: 18/12/19 12:06:07  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 75% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.63 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$562.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 31	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.375 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.11 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00975  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00609 < 0.09375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8013 < 2.0$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

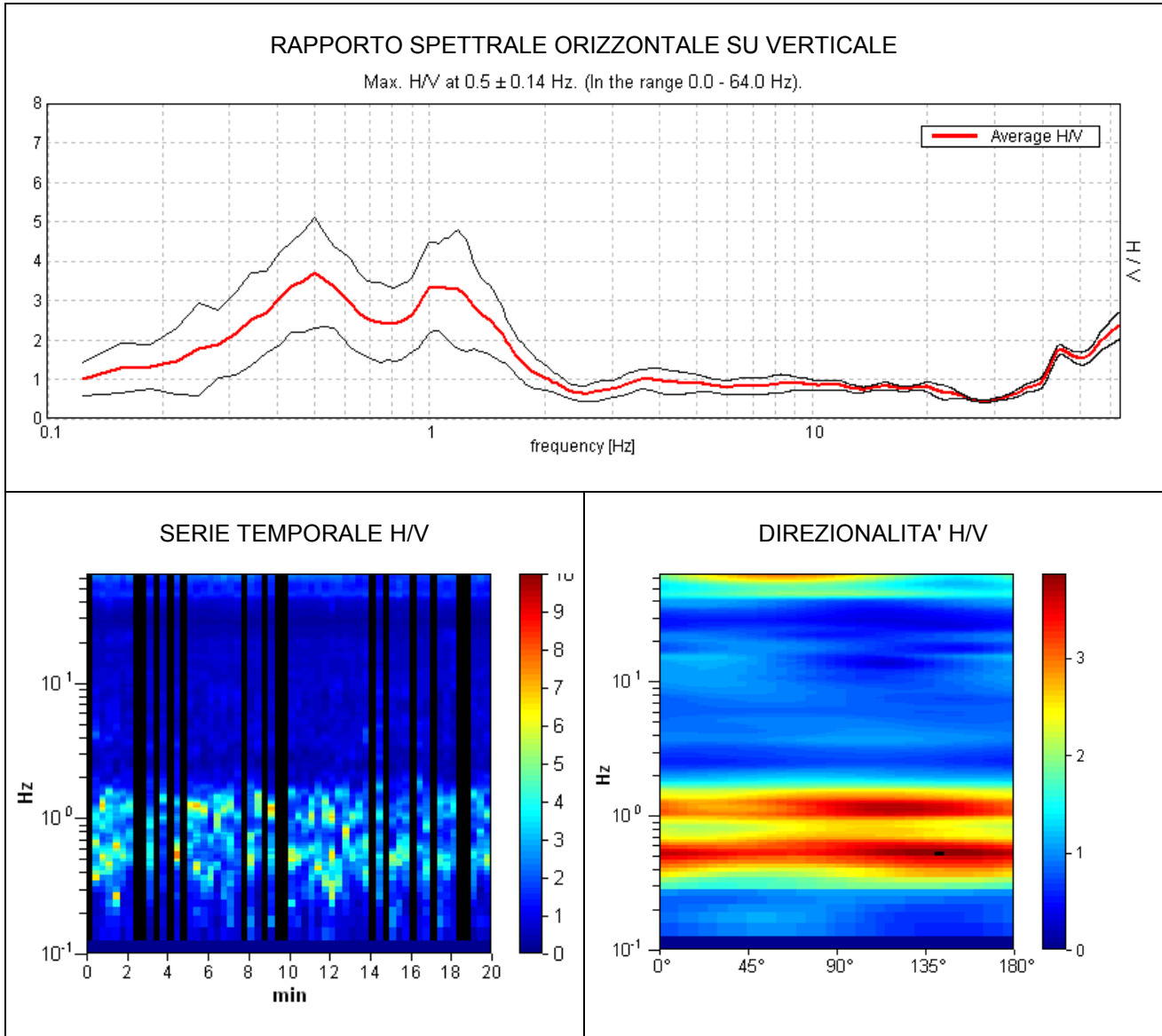
Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

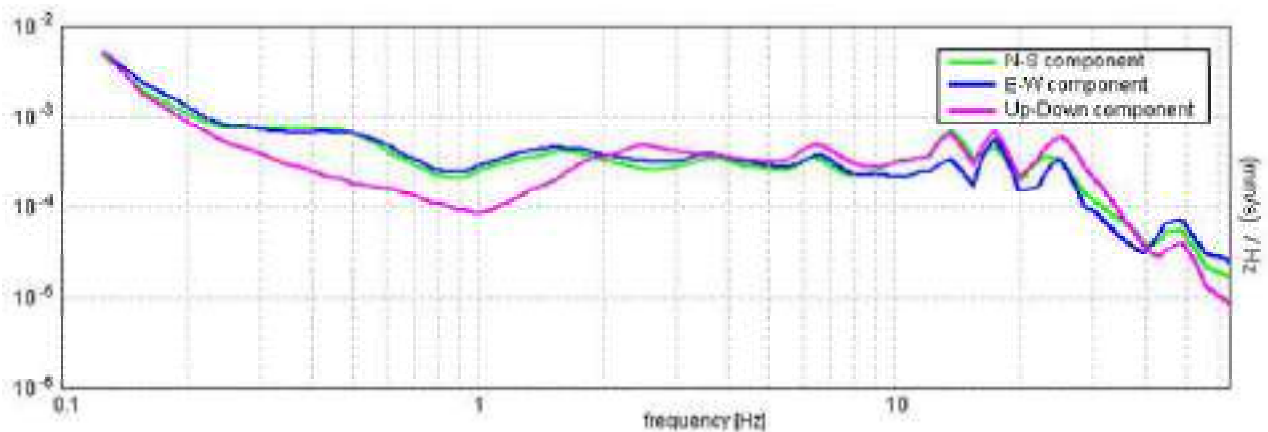


**CALCINAIA 2019, TROMO 14**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 18/12/19 12:57:06 Fine registrazione: 18/12/19 13:17:05  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 73% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 12%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.5 \pm 0.14$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.50 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$440.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 25	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.625 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.70 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.14011  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07006 < 0.075$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6868 < 2.0$	<b>OK</b>	

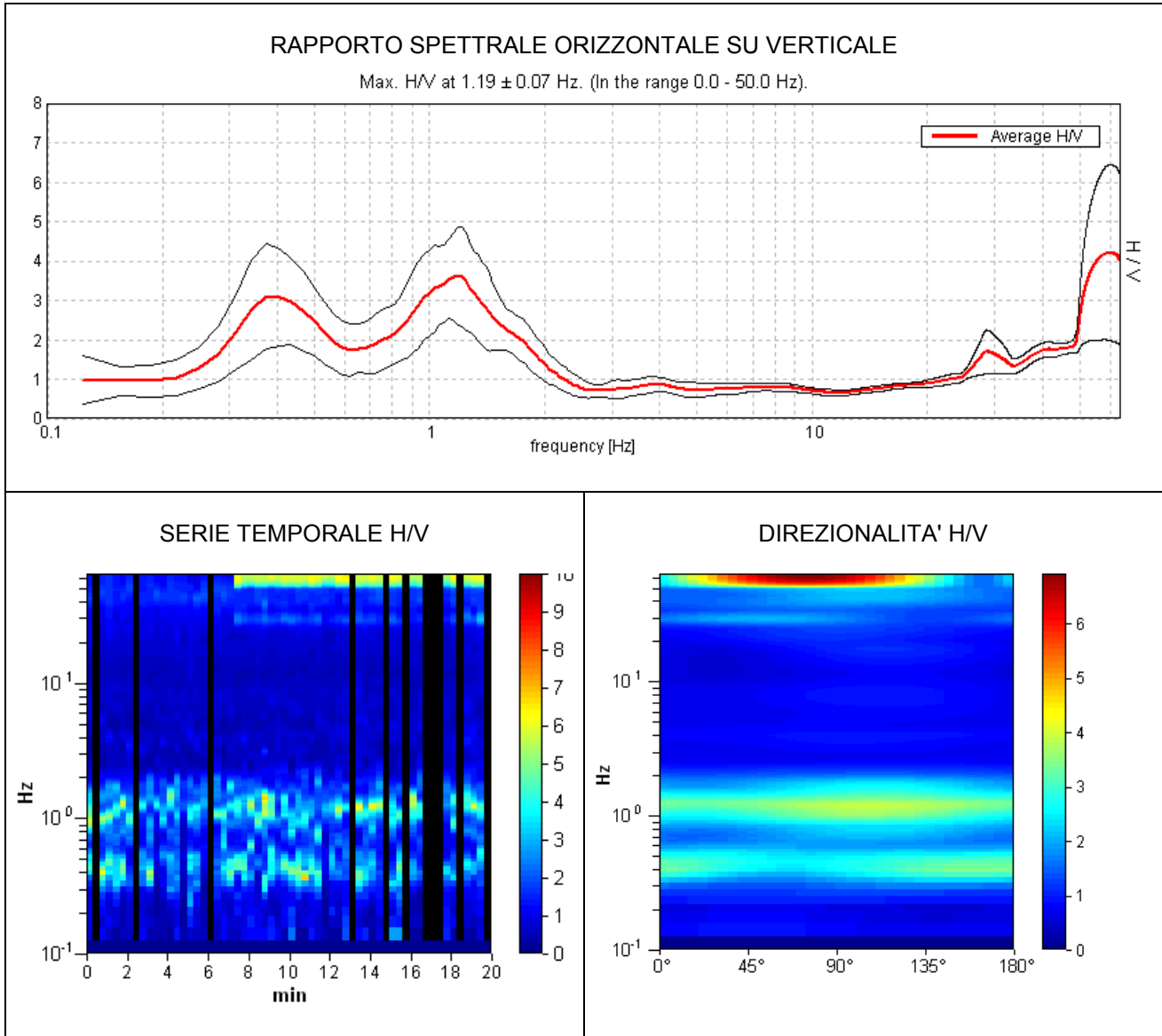
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

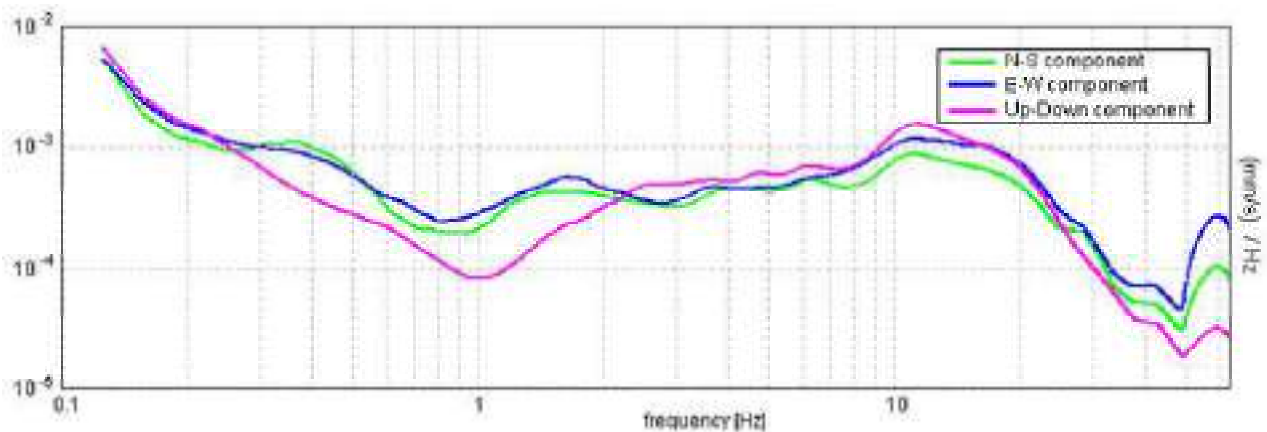
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA 2019, TROMO 15**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 18/12/19 13:30:45 Fine registrazione: 18/12/19 13:50:44  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.19 \pm 0.07$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

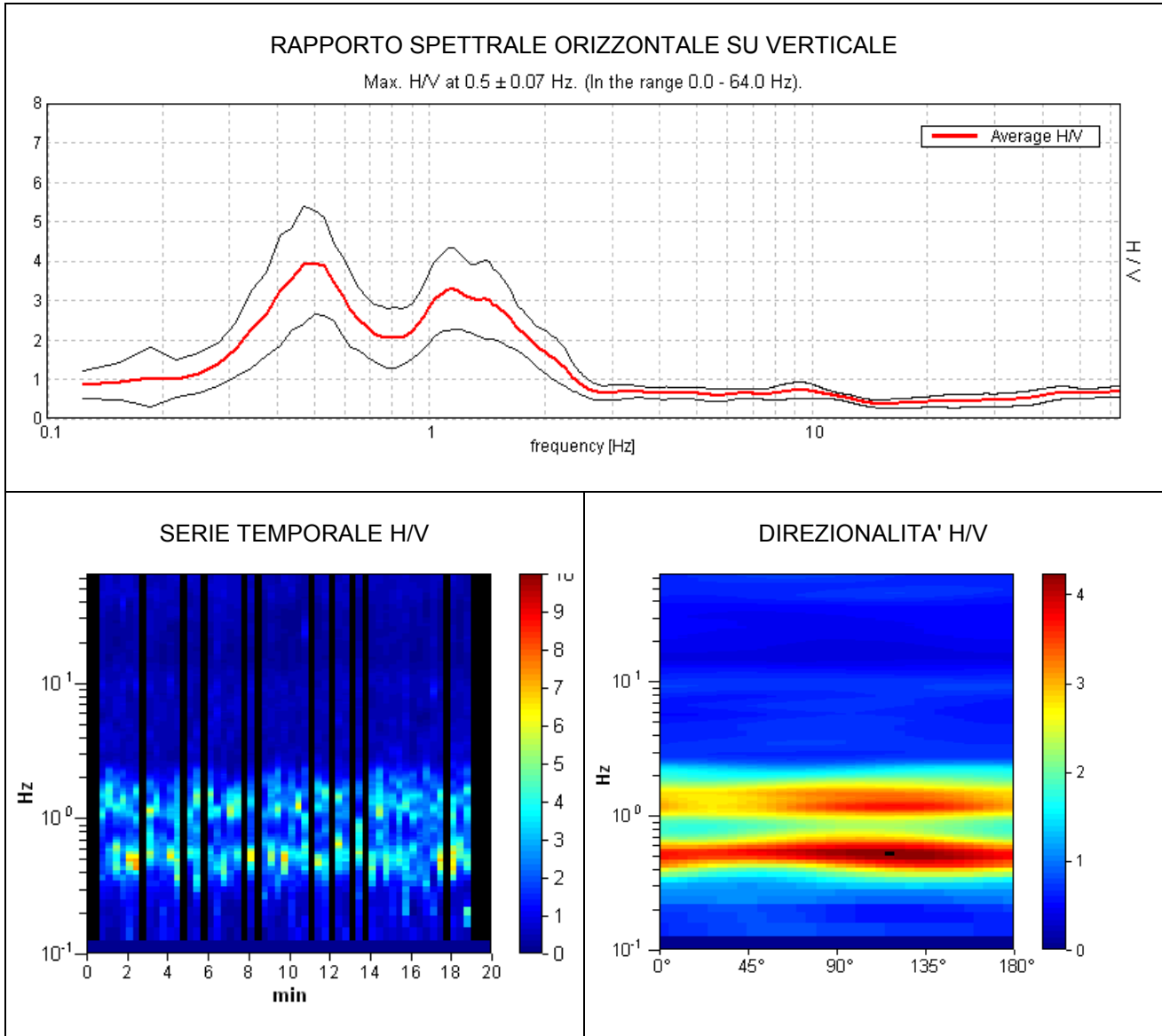
<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.19 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	1163.8 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 58	<b>OK</b>	
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.656 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.844 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	3.63 > 2	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02785  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03307 < 0.11875$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6104 < 1.78$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

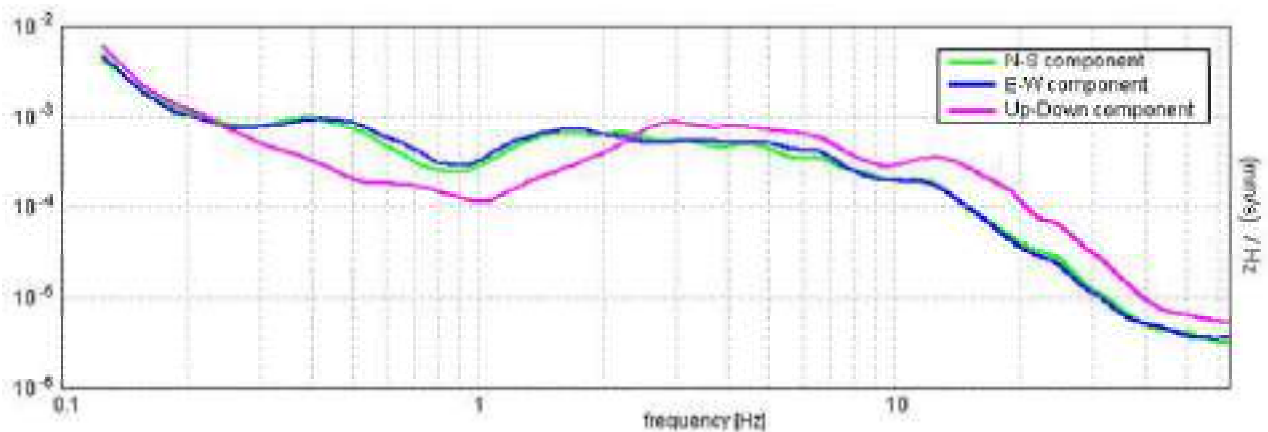
Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA 2019, TROMO 16**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 18/12/19 12:22:41 Fine registrazione: 18/12/19 12:42:40  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 75% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.5 \pm 0.07$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.50 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$450.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 25	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.313 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.844 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.96 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0732  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0366 < 0.075$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6503 < 2.0$	<b>OK</b>	

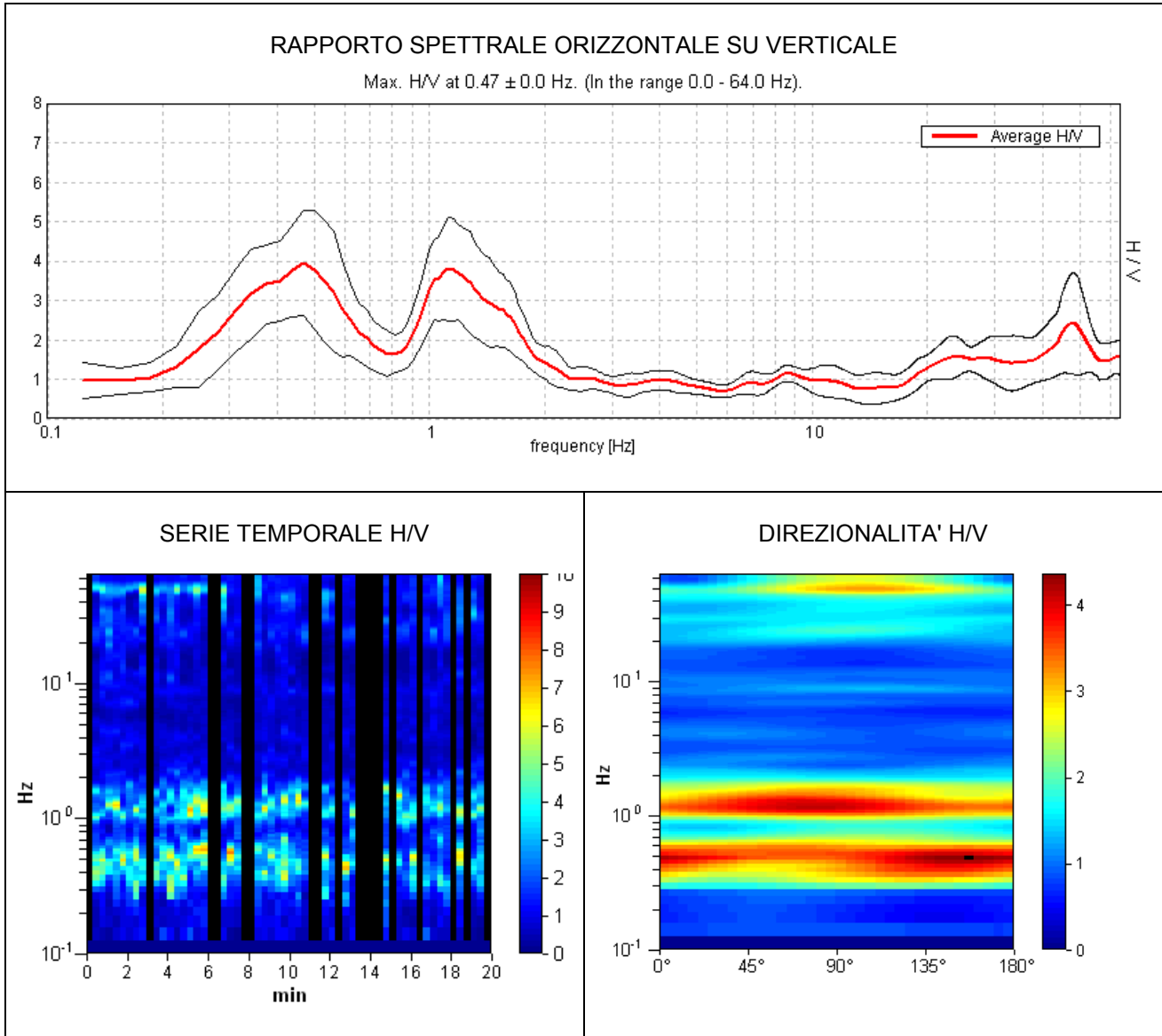
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

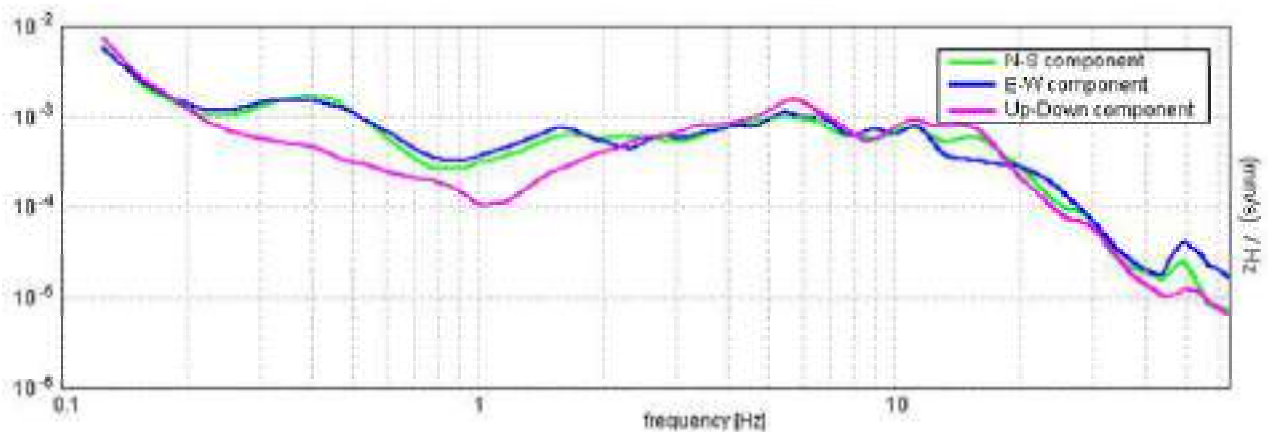
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA 2019, TROMO 17**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 17/12/19 17:27:13 Fine registrazione: 17/12/19 17:47:12  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 70% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 12%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $0.47 \pm 0.0$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.47 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$393.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 24	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.719 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.95 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00476  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00223 < 0.09375$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6521 < 2.5$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



### CALCINAIA 2019, TROMO 18

Strumento: TRZ-0158/01-11

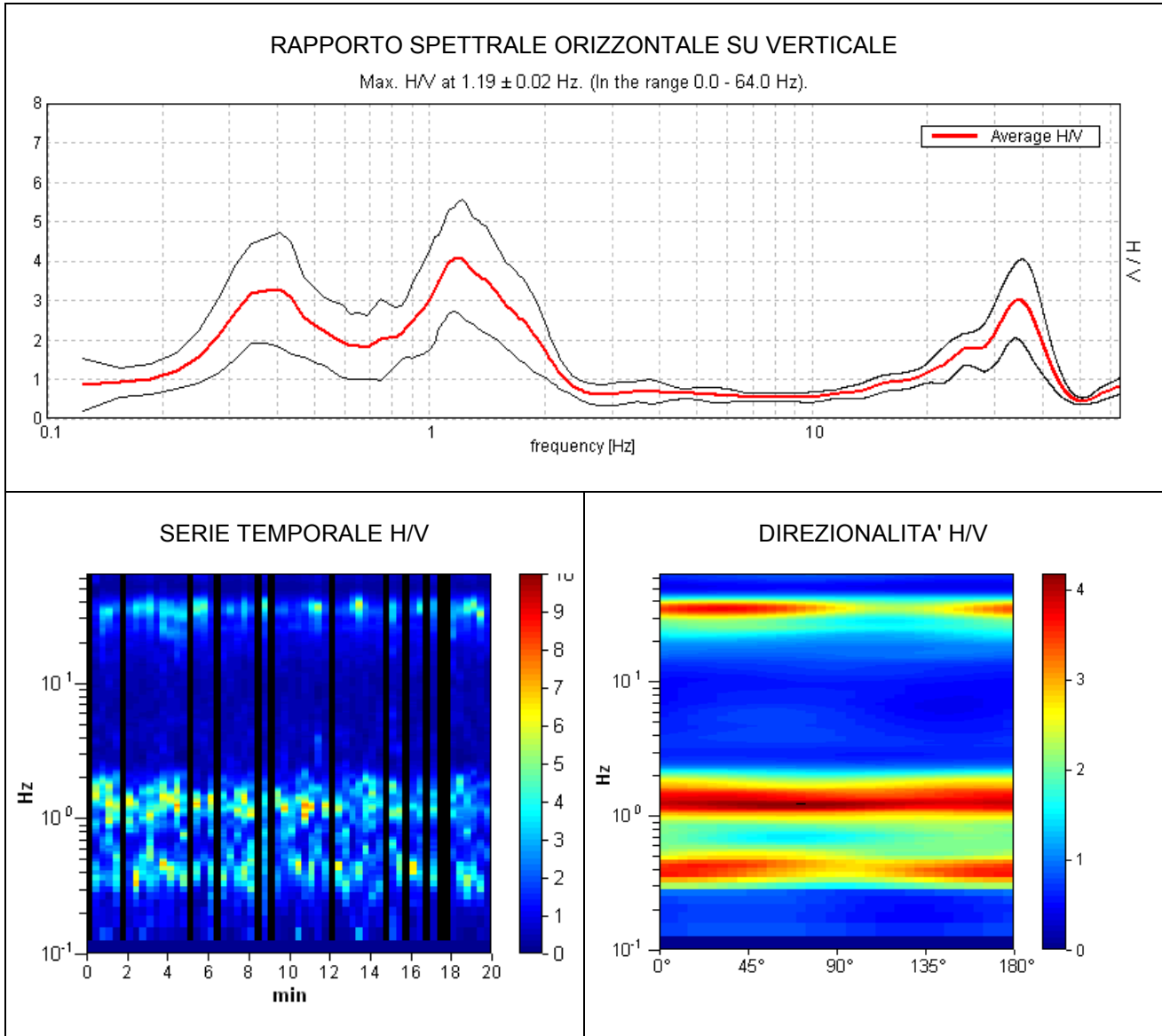
Inizio registrazione: 17/12/19 16:45:06 Fine registrazione: 17/12/19 17:05:05

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

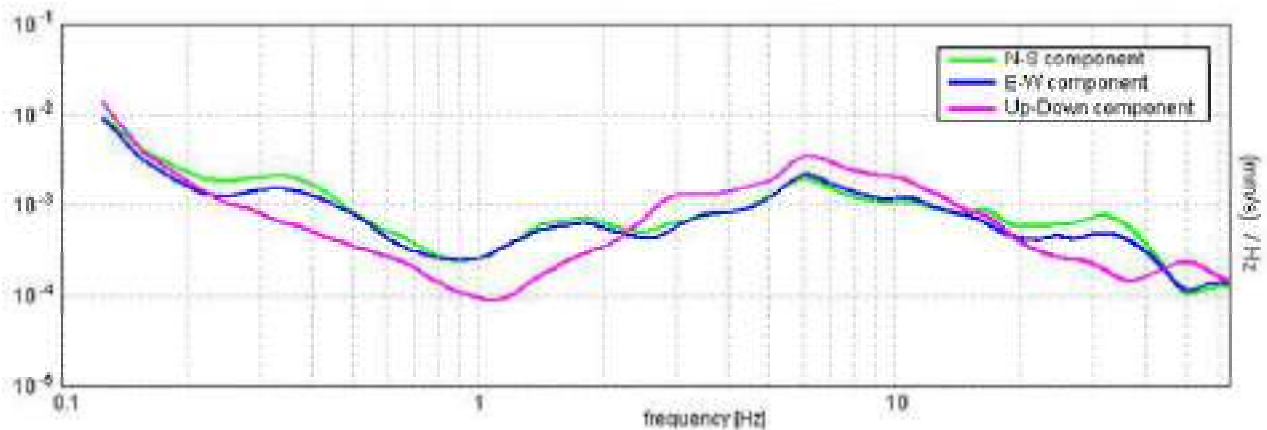
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 12%



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.19 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.19 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1140.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 58	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.781 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.09 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00943  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0112 < 0.11875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6961 < 1.78$	OK	

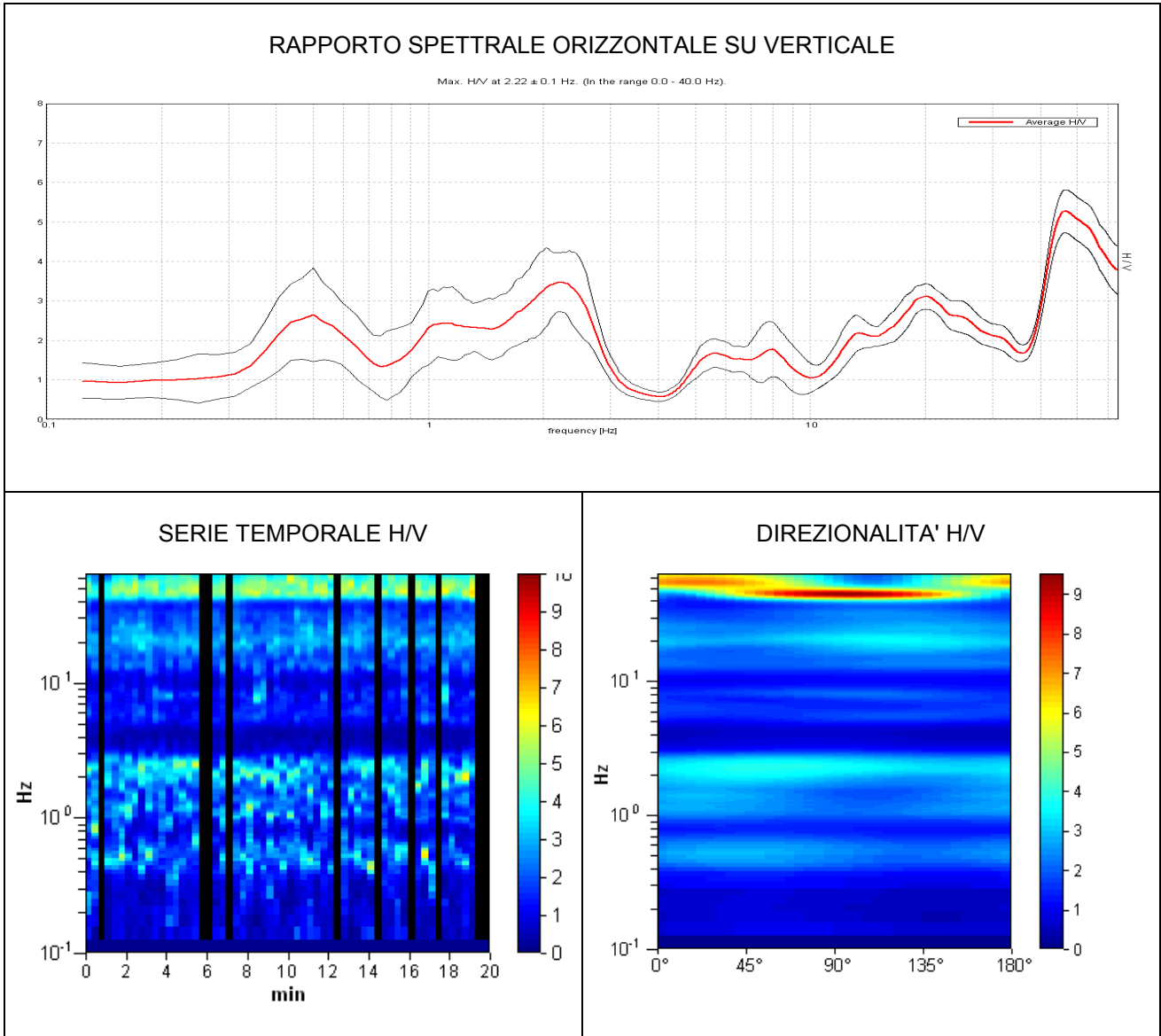
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

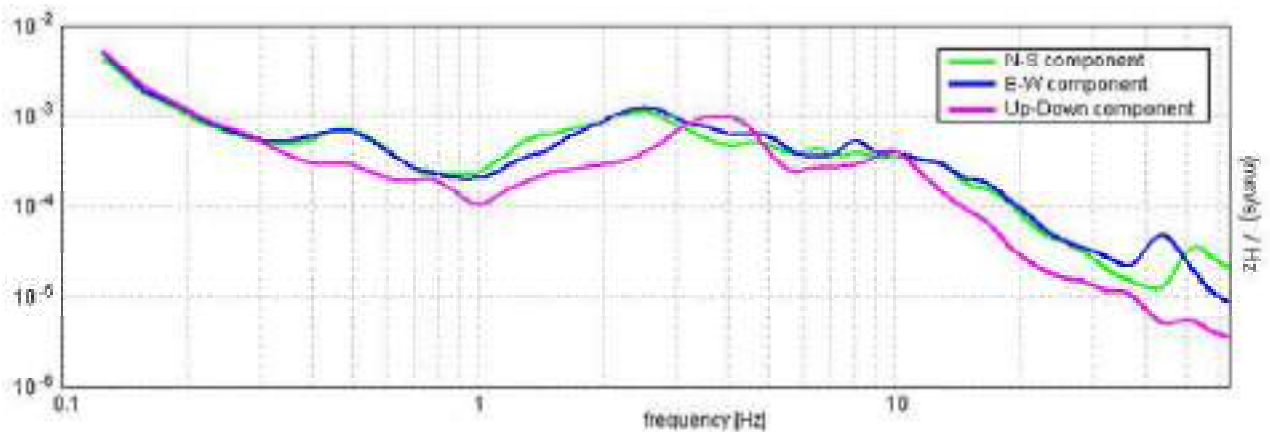
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA 2019, TROMO 19**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 16/12/19 16:42:43 Fine registrazione: 16/12/19 17:02:42  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 12%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $2.22 \pm 0.1$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.22 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2218.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 108	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.875 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.47 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02265  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05025 < 0.11094$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3674 < 1.58$	OK	

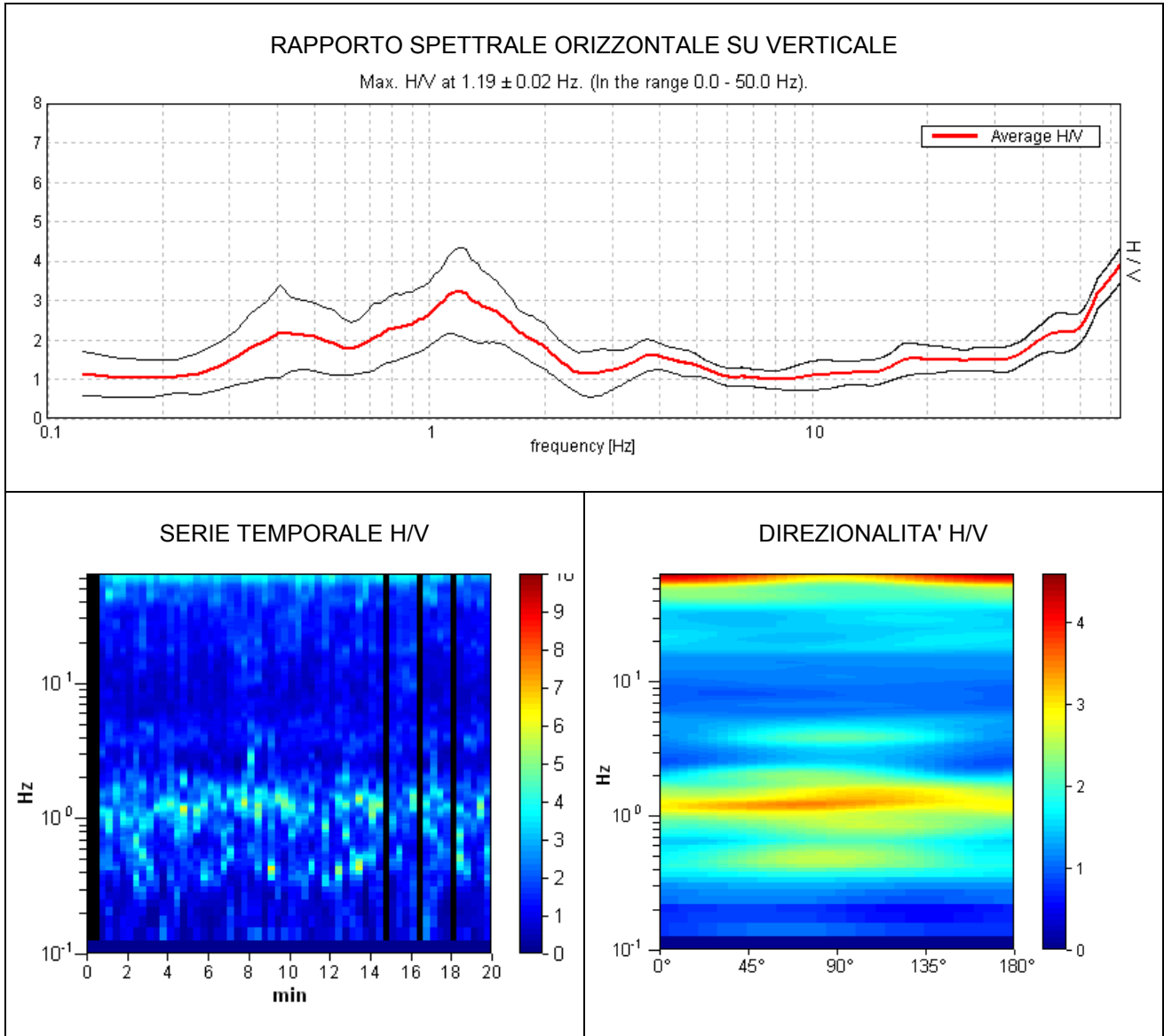
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

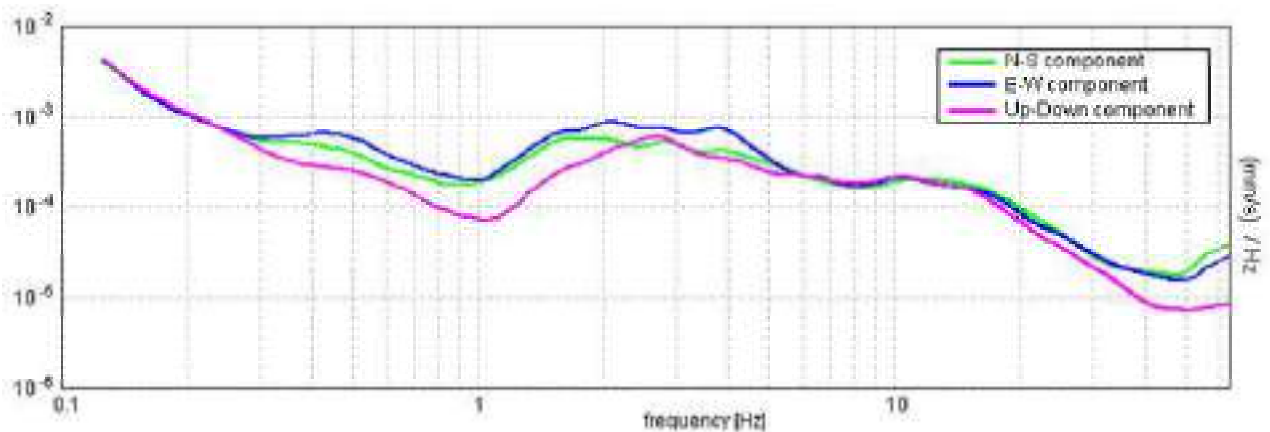
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA 2019, TROMO 20**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 16/12/19 17:28:14 Fine registrazione: 16/12/19 17:48:13  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.19 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 50.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	1.19 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1306.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 58	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.313 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.125 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.22 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0095  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01128 < 0.11875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5517 < 1.78$	OK	

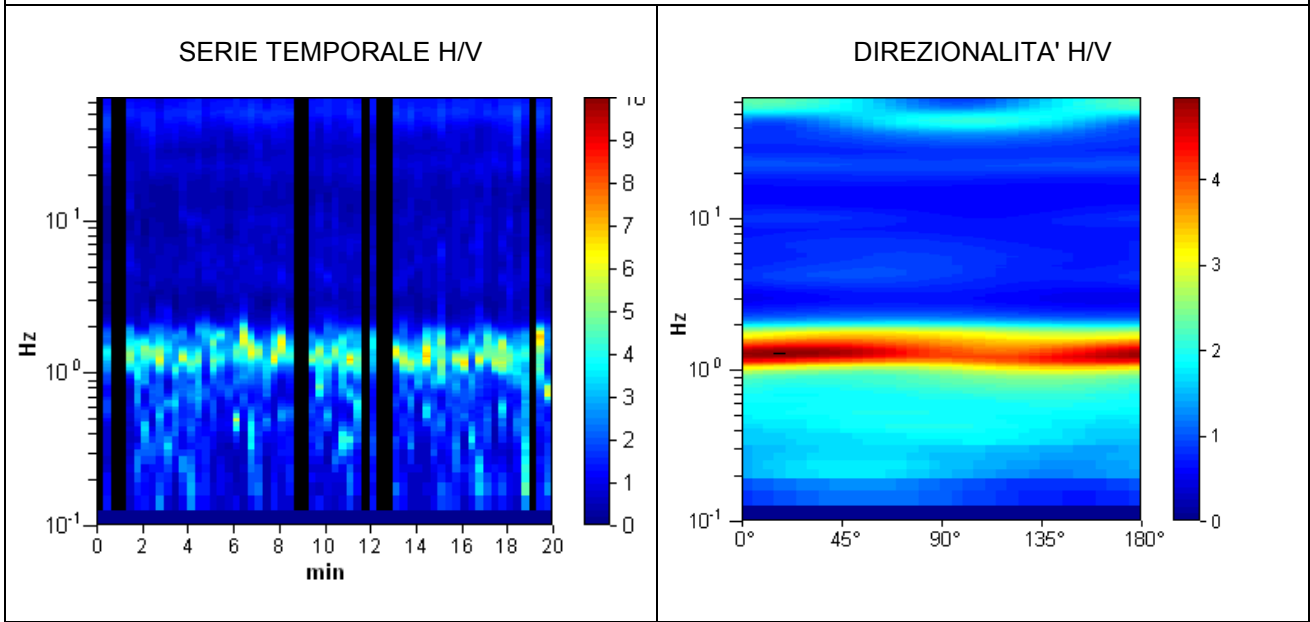
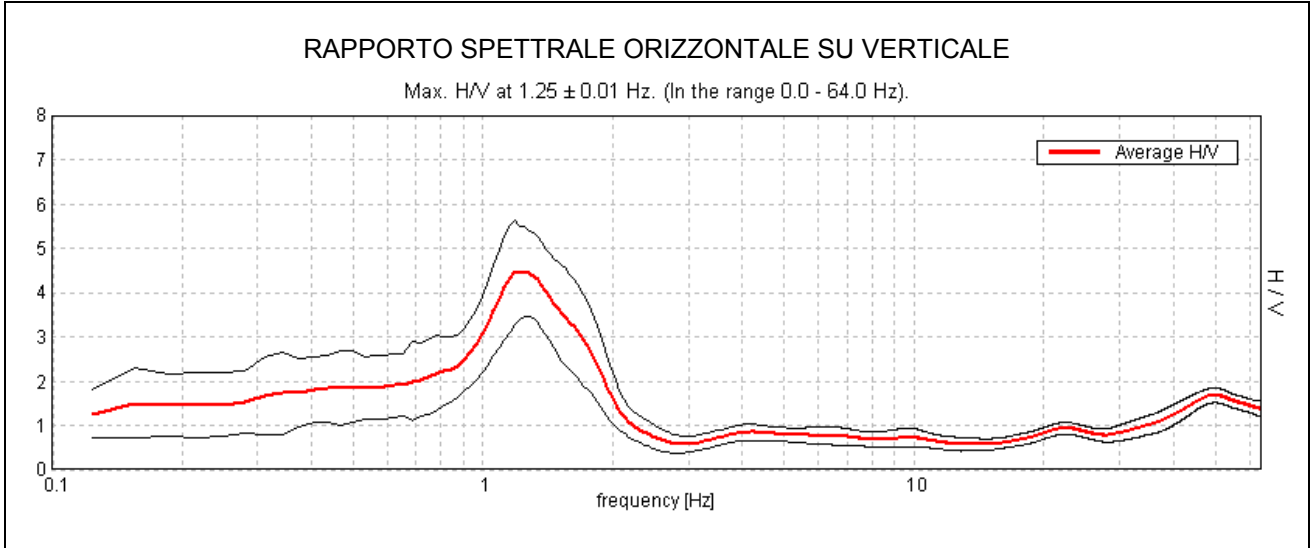
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

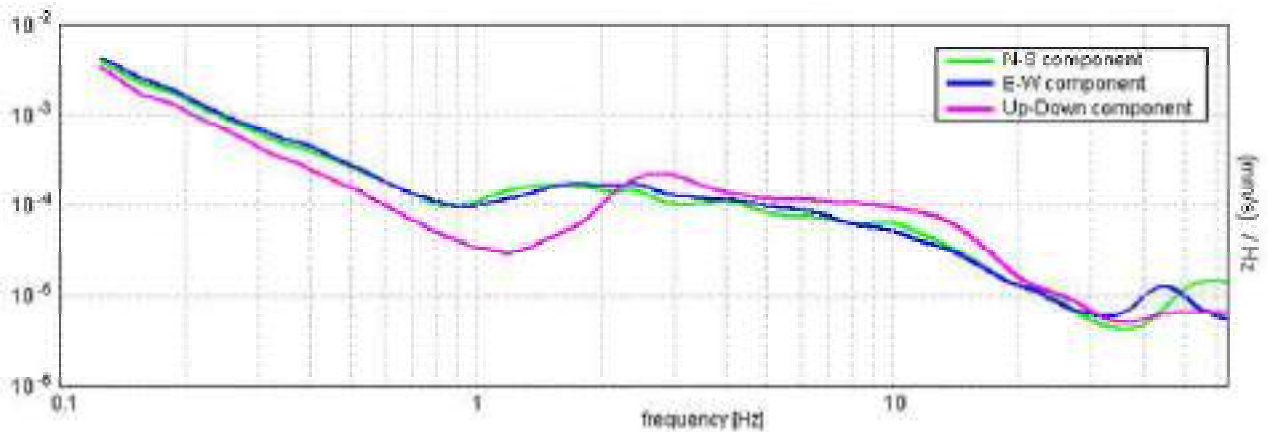
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA2019, TROMO 21**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 15/12/19 11:39:48 Fine registrazione: 15/12/19 11:59:47  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 18%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.25 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.25 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1275.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 61	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.813 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.47 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00565  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00707 < 0.125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5023 < 1.78$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## CALCINAIA2019, TROMO 22

Strumento: TRZ-0158/01-11

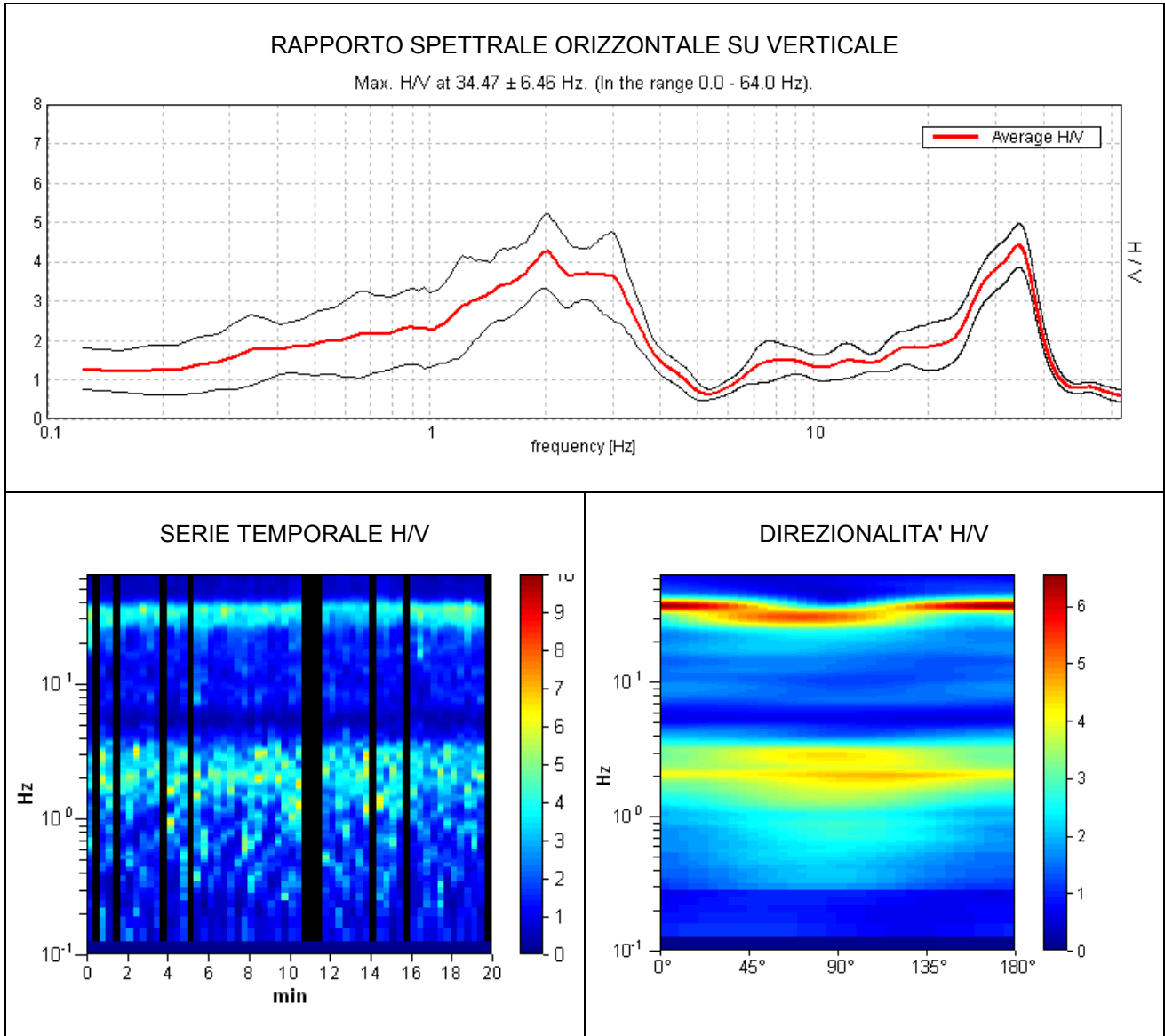
Inizio registrazione: 15/12/19 11:04:29 Fine registrazione: 15/12/19 11:24:28

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

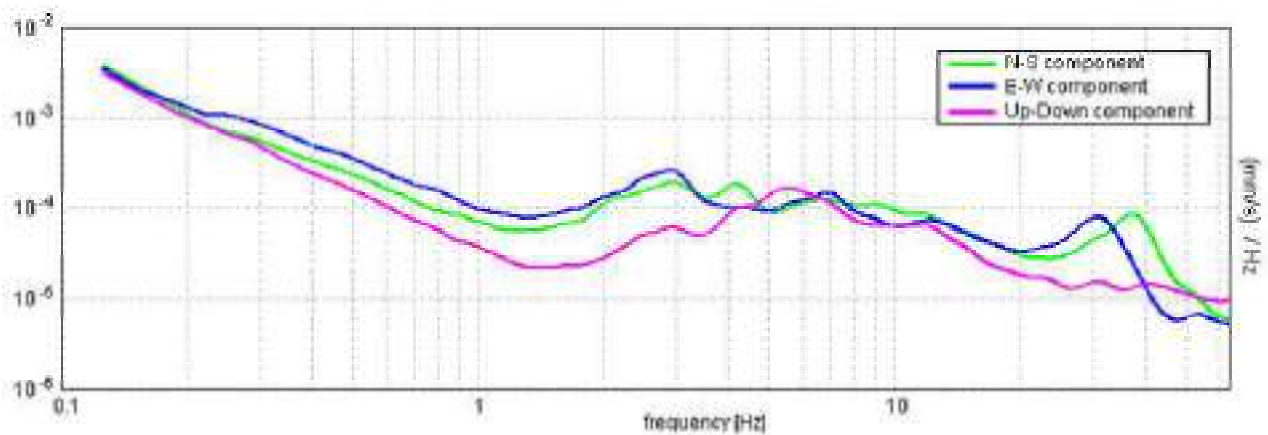
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 12%



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $34.47 \pm 6.46$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$34.47 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$34468.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1498	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	24.031 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	39.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.41 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09237  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$3.18399 < 1.72344$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.271 < 1.58$	OK	

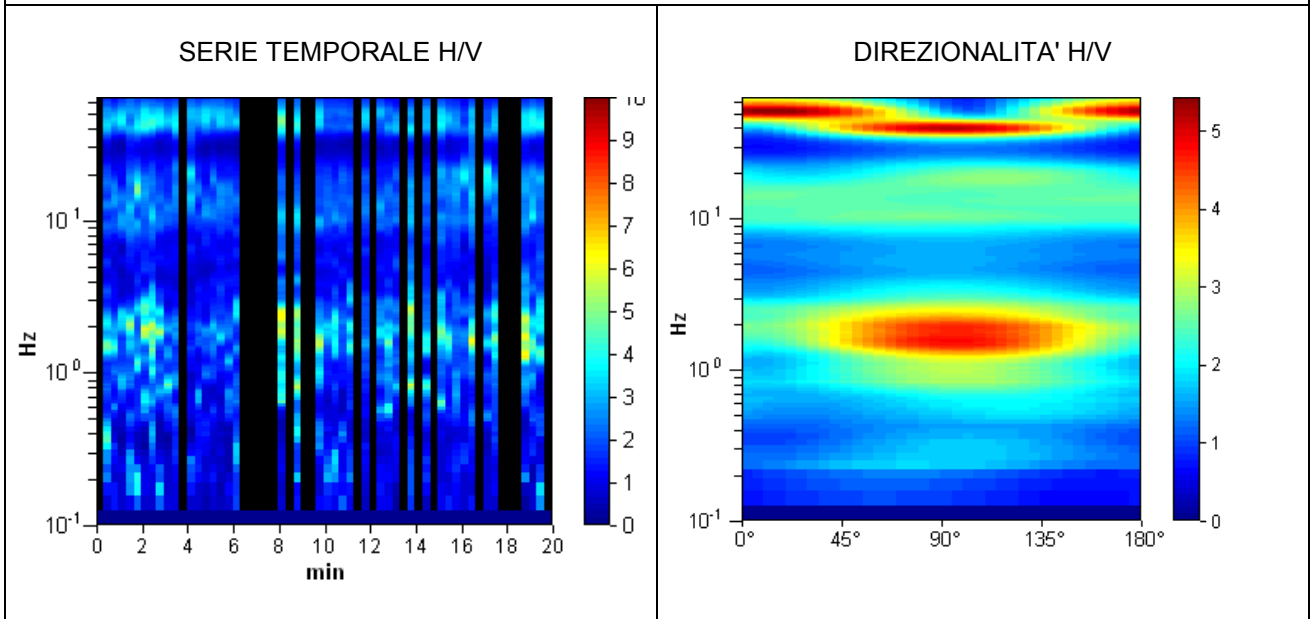
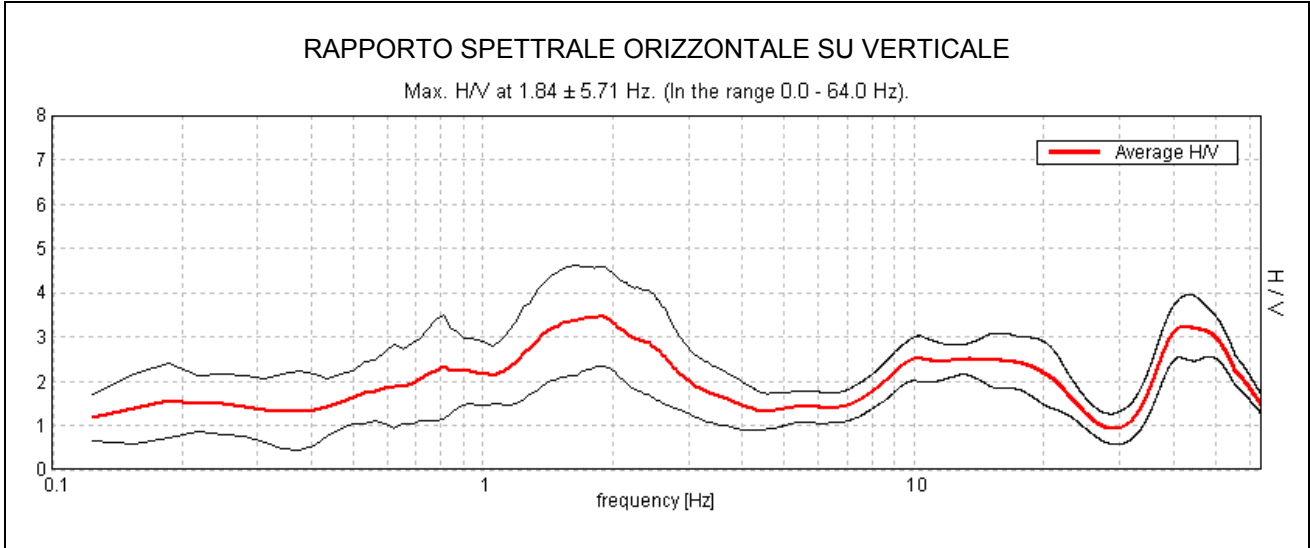
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

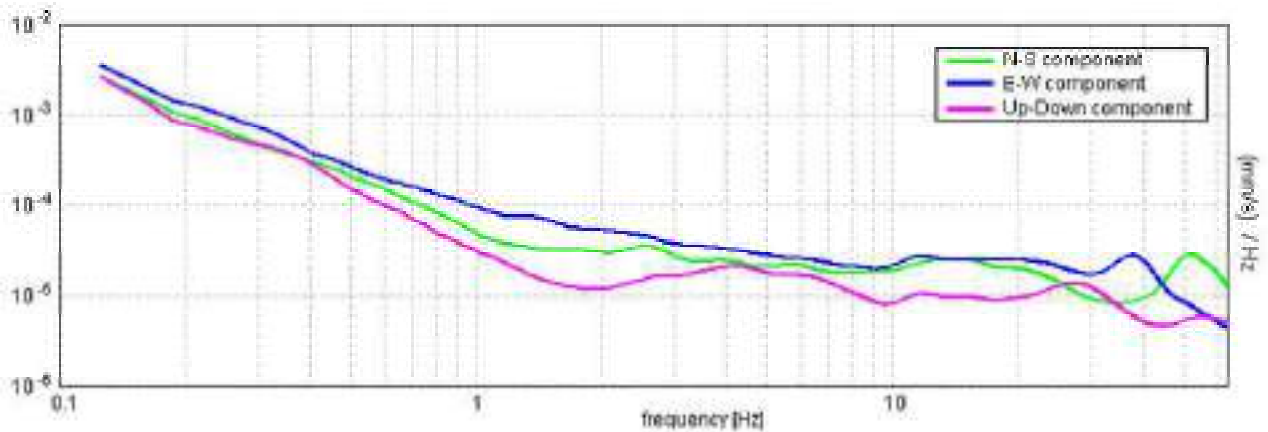
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA2019, TROMO 23**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 15/12/19 10:35:50 Fine registrazione: 15/12/19 10:55:49  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 67% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.84 \pm 5.71$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.84 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1475.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 90	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.531 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.46 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.51159  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.78699 < 0.18438$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5519 < 1.78$	OK	

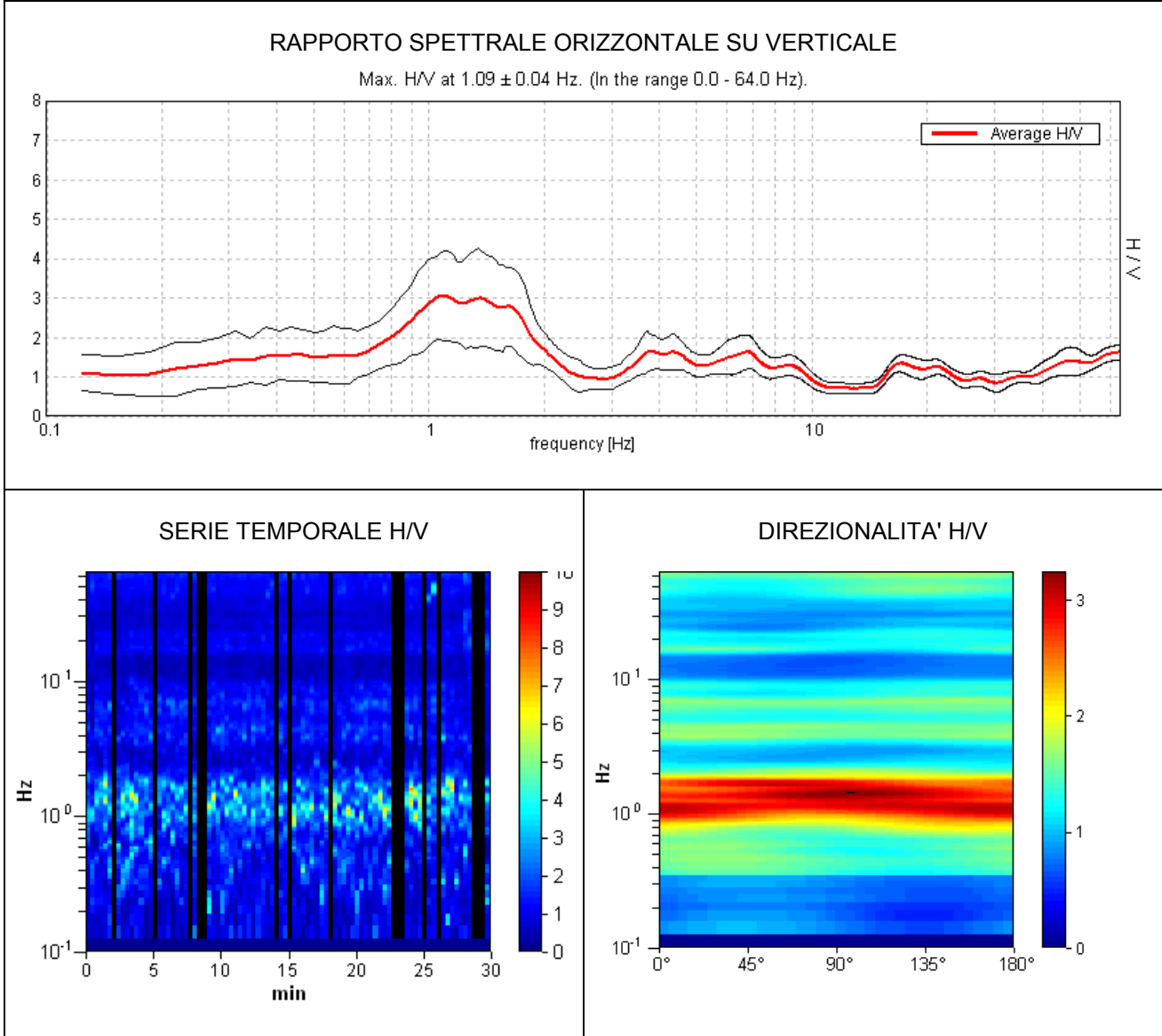
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

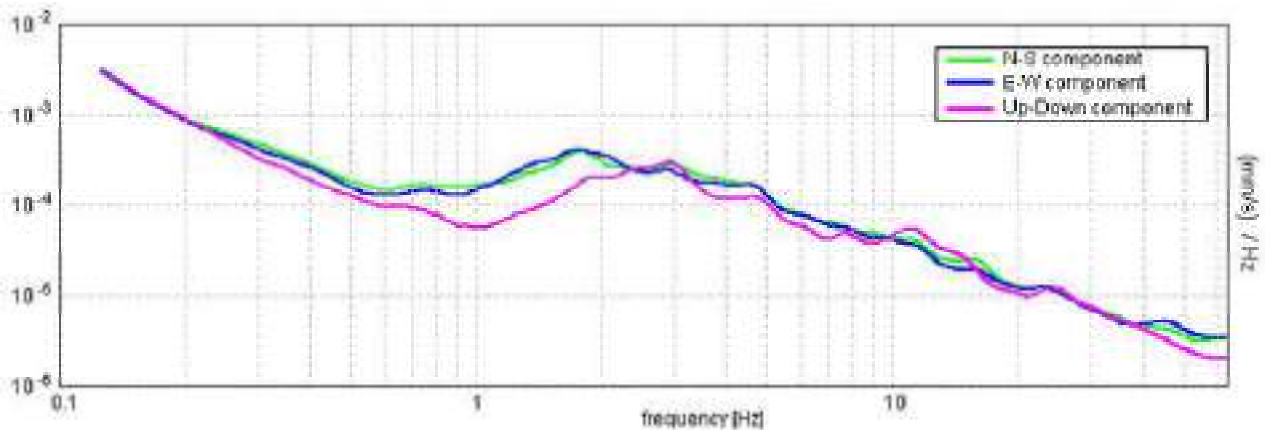
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**CALCINAIA 2019, TROMO 24**

Strumento: TRZ-0158/01-11  
 Inizio registrazione: 27/12/19 15:56:04 Fine registrazione: 27/12/19 16:26:03  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.09 \pm 0.04$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.09 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$1618.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 54	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.625 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.094 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.06 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01794  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01962 < 0.10938$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5702 < 1.78$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## CALCINAIA 2019, TROMO 25

Strumento: TRZ-0158/01-11

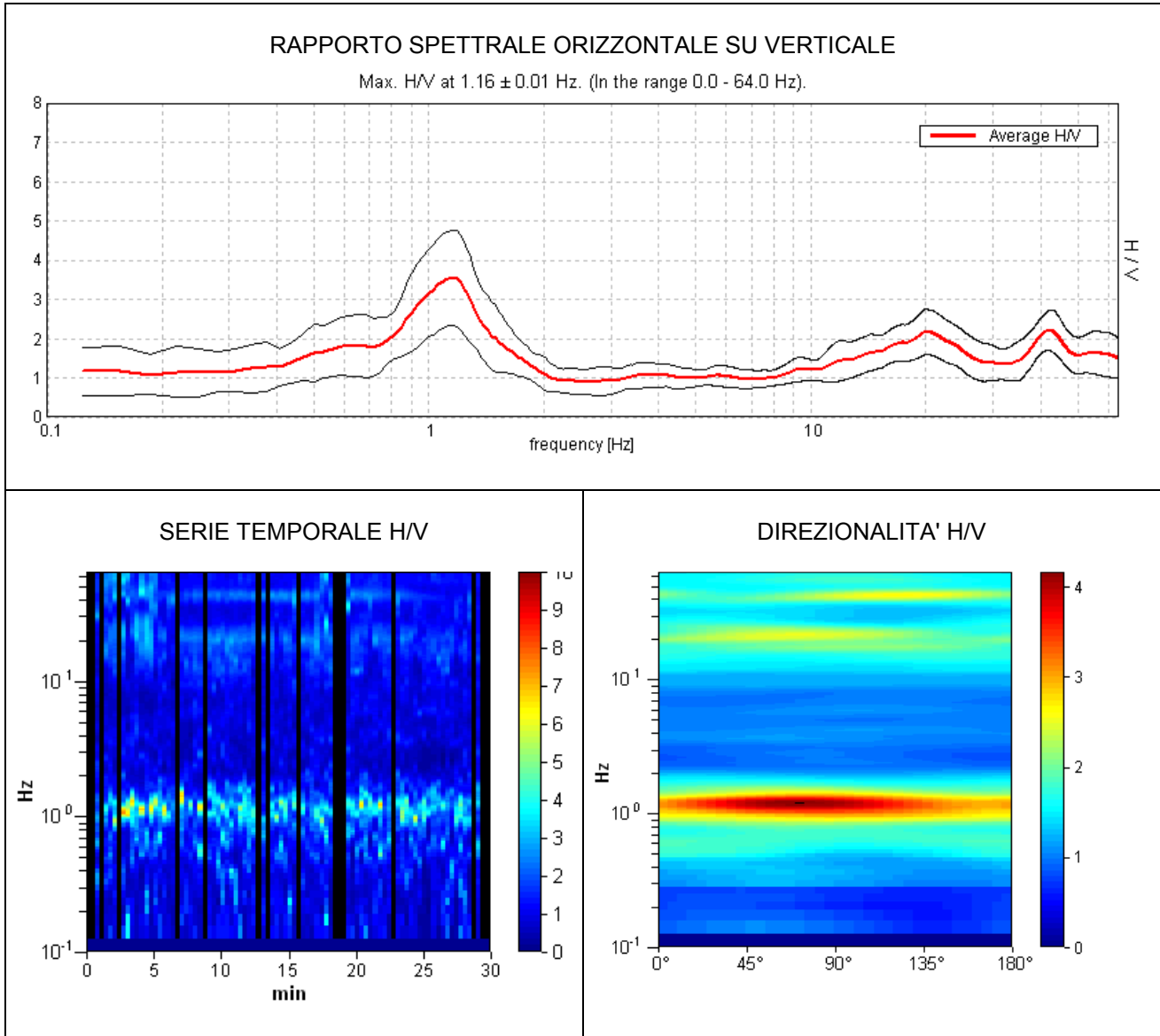
Inizio registrazione: 27/12/19 16:42:37 Fine registrazione: 27/12/19 17:12:36

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

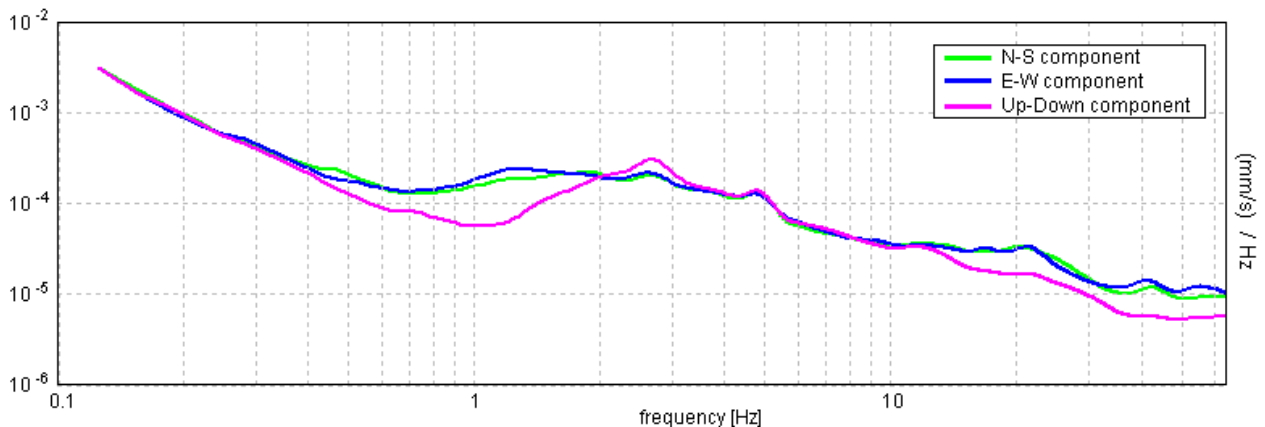
Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 12%



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

**Picco H/V a  $1.16 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.16 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1711.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 56	OK	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

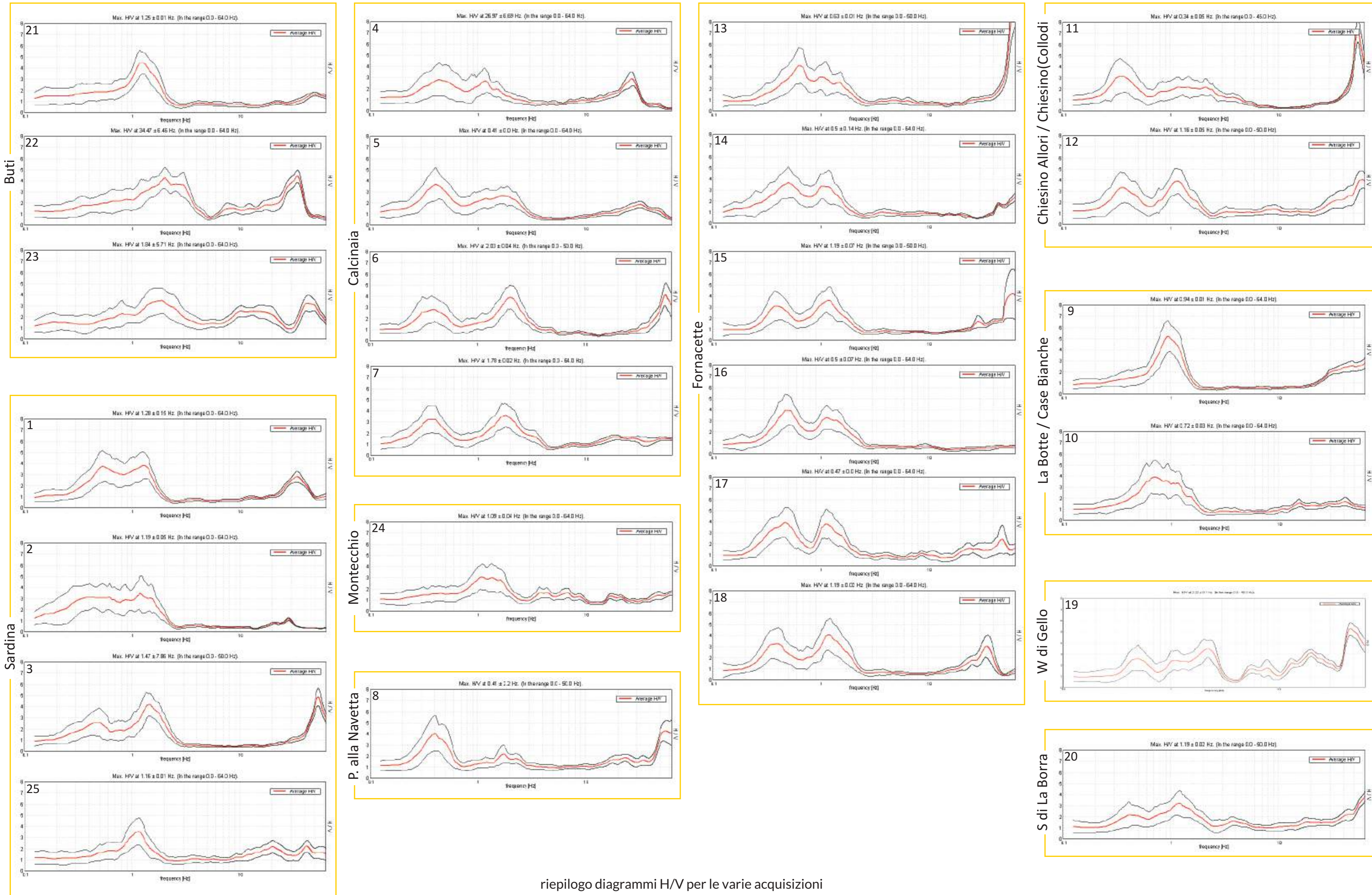
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.563 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.54 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00643  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00744 < 0.11563$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6042 < 1.78$	OK	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

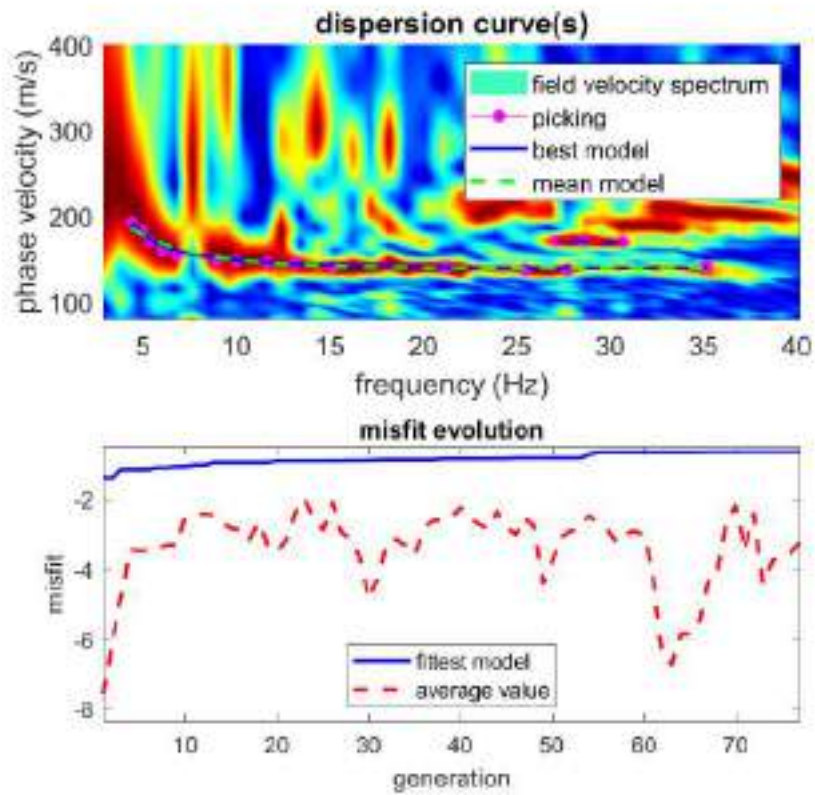
Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

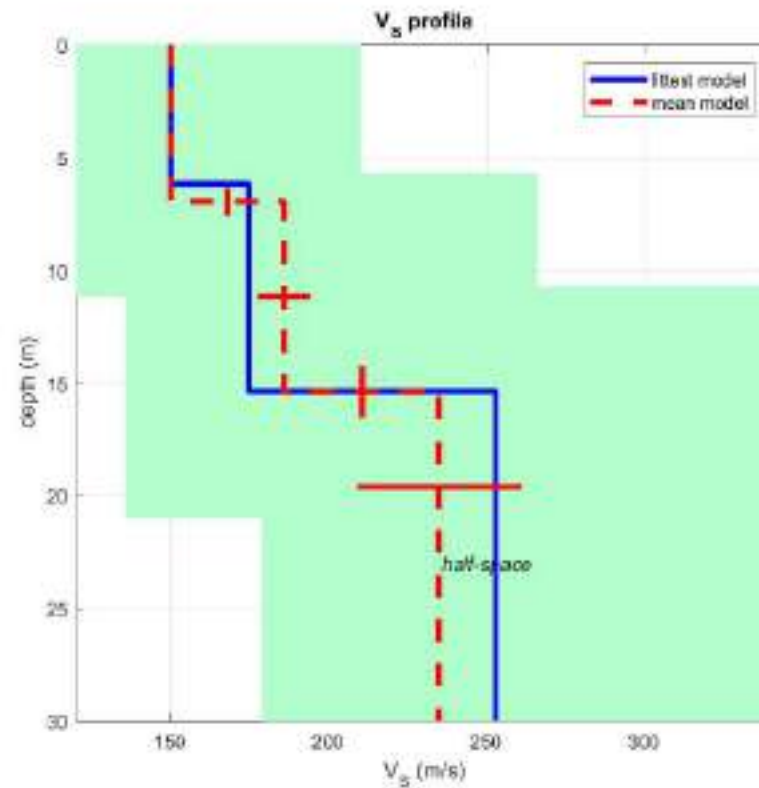




riepilogo diagrammi H/V per le varie acquisizioni



[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)



dataset: 7510.sgy  
 dispersion curve: 7510.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 198 198 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 195 195 m/s

**Mean model**

Vs (m/s): 150, 186, 235

Standard deviations (m/s): 0, 8, 26

Thickness (m): 7.0, 8.4

Standard deviations (m/s): 0.6, 1.2

```

===== SECTION#1
dataset: 7510.sgy
sampling (ms): 1.024
minimum offset (m): 7.5
geophone spacing (m): 2.5
offsets (m): 7.5      10      12.5      15      17.5
20      22.5      25      27.5      30      32.5      35
      37.5      40      42.5      45      47.5      50
      52.5      55      57.5      60      62.5      65
Dispersion curve: 7510.cdp
Number of individuals: 32
Number of generations: 61

```

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum Vs): 107 136 179  
Adopted search space (maximum Vs): 210 266 350

Adopted search space (minimum Poisson): 0.16516 0.17524 0.17484  
Adopted search space (maximum Poisson): 0.49549 0.499 0.499

Adopted search space (minimum Qs): 7.5 12 14.25  
Adopted search space (maximum Qs): 15 24 28.5

Adopted search space (minimum reference frequency): 1  
Adopted search space (maximum reference frequency): 35.135

Adopted search space (minimum thickness): 5.7143 5  
Adopted search space (maximum thickness): 11.2 9.8

Output folder:  
E:\SISMICA\valdera\_calcinaia\forncette-valdera-calcinaia-ba\output\_disp

```

===== SECTION#2
Rayleigh-wave analysis
Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -7.5762
-1.3853
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -6.0675
-1.3853
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -4.7636
-1.1663
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -3.4516
-1.1663
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -3.4884
-1.1639
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -3.4346
-1.1639
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -3.3849

```

```

-1.1096
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -3.3212
-1.1096
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -3.3195
-1.0813
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -2.5347
-1.0813
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -2.4262
-1.0502
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -2.4259
-1.0502
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -2.4717
-0.96888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -2.6851
-0.96888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -2.8599
-0.96888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -2.879
-0.96888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -3.1525
-0.96888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -2.6684
-0.96888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -3.3793
-0.96888
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -3.4943
-0.91365
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -3.1792
-0.91365
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -2.3458
-0.91365
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -1.9934
-0.91365
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -2.5483
-0.91365
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -2.8902
-0.91365
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -2.1032
-0.91337
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -2.9457
-0.91337
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -3.141
-0.90387
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -3.6921
-0.90387
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -4.8634
-0.90387
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -4.2647
-0.891
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits: -3.2117
-0.88716
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits: -3.147
-0.88716
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits: -3.3168

```

-0.88716  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits: -3.5946  
-0.88716  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits: -2.8275  
-0.88716  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits: -2.6323  
-0.88716  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits: -2.5974  
-0.86155  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits: -2.5337  
-0.86155  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits: -2.2302  
-0.86155  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits: -2.5519  
-0.86155  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 42; average & best misfits: -2.7178  
-0.86155  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 43; average & best misfits: -2.8785  
-0.86155  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 44; average & best misfits: -2.364  
-0.85626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 45; average & best misfits: -2.7902  
-0.85626  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 46; average & best misfits: -3.0209  
-0.83771  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 47; average & best misfits: -2.5391  
-0.83771  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 48; average & best misfits: -2.7711  
-0.83622  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 49; average & best misfits: -4.4072  
-0.83622  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 50; average & best misfits: -3.7541  
-0.83622  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 51; average & best misfits: -3.1017  
-0.83622  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 52; average & best misfits: -2.9132  
-0.83622  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 53; average & best misfits: -2.861  
-0.83622  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 54; average & best misfits: -2.4763  
-0.74269  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 55; average & best misfits: -2.6698  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 56; average & best misfits: -2.8937  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 57; average & best misfits: -3.2241  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 58; average & best misfits: -3.0049  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 59; average & best misfits: -2.9246  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 60; average & best misfits: -3.0286  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 61; average & best misfits: -4.16

-0.66559  
Adopted search space (minimum Vs): 107 136 179  
Adopted search space (maximum Vs): 210 266 350  
Adopted search space (minimum Qs): 7.5 12 14.25  
Adopted search space (maximum Qs): 15 24 28.5  
Adopted search space (minimum reference frequency): 1  
Adopted search space (maximum reference frequency): 35.135  
Adopted search space (minimum Poisson): 0.16516 0.17524 0.17484  
Adopted search space (maximum Poisson): 0.49549 0.497 0.497  
Adopted search space (minimum thickness): 5.7143 5  
Adopted search space (maximum thickness): 11.2 9.8  
Now a finer search around the most promising search space area  
Rayleigh-wave analysis  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -6.4383  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -6.7243  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -5.8531  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -5.8488  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -5.5961  
-0.66559  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -4.3543  
-0.65454  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -4.2041  
-0.65454  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -2.6844  
-0.65454  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -2.1917  
-0.65454  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -3.4761  
-0.65061  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -2.4195  
-0.65061  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -4.4227  
-0.65061  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -3.7633  
-0.65061  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -3.6773  
-0.65061  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -3.5541  
-0.65048  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -3.2299  
-0.65048

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):  
Vs (m/s): 150 175 253  
Thickness (m): 6.2 9.2

Number of models considered to calculate the average model: 222

#####  
RESULTS  
#####

Dataset: 7510.sgy  
Analyzed curve/spectrum: 7510.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====

MEAN MODEL

Vs (m/s): 150 186 235  
Standard deviations (m/s): 0 8 26

Thickness (m): 7.0 8.4  
Standard deviations (m): 0.6 1.2

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 267 351 512  
Density (gr/cm3): 1.74 1.80 1.89  
Vp/Vs ratio: 1.78 1.89 2.18  
Poisson: 0.27 0.30 0.37  
Shear modulus (MPa): 39 62 104  
Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0

Fundamental mode

Mean model

f(Hz)	VR(m/s)
4.39771	184.6678
4.97548	178.0306
5.37992	173.6501
6.07324	167.0847
6.82434	161.403
8.96208	151.0283
9.94429	148.0499
11.6198	144.5174
13.122	142.4837
15.1442	140.7939
21.2108	138.9185

25.4285 138.5906  
27.7396 138.5136  
35.135 138.4292

First higher mode

Mean model

27.1618 172.9024  
28.6062 170.8478  
30.6862 168.0774

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 150 175 253  
thickness (m): 6.1646 9.2293

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 275 302 1521  
Density (gr/cm3): 1.74 1.76 2.16  
Vp/Vs ratio: 1.83 1.73 6.01  
Poisson: 0.29 0.25 0.49  
Shear modulus (MPa): 39 54 138  
Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

F(Hz)	VR(m/s)
4.39771	190.1983
4.97548	179.1301
5.37992	172.8089
6.07324	164.7884
6.82434	159.0015
8.96208	150.2669
9.94429	147.9591
11.6198	145.1251
13.122	143.349
15.1442	141.7186
21.2108	139.595
25.4285	139.141
27.7396	139.0216
35.135	138.8736

First higher mode)

best model

27.1618 171.3368  
28.6062 170.1132  
30.6862 168.3614

Analyzing phase velocities

=====  
SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 30 m

Inversion quality: very good

Vs30 & VsE (mean model): 195 195 m/s

Vs30 & VsE (best model): 198 198 m/s

=====  
SECTION#6

For Italian Users:

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Results saved in the folder

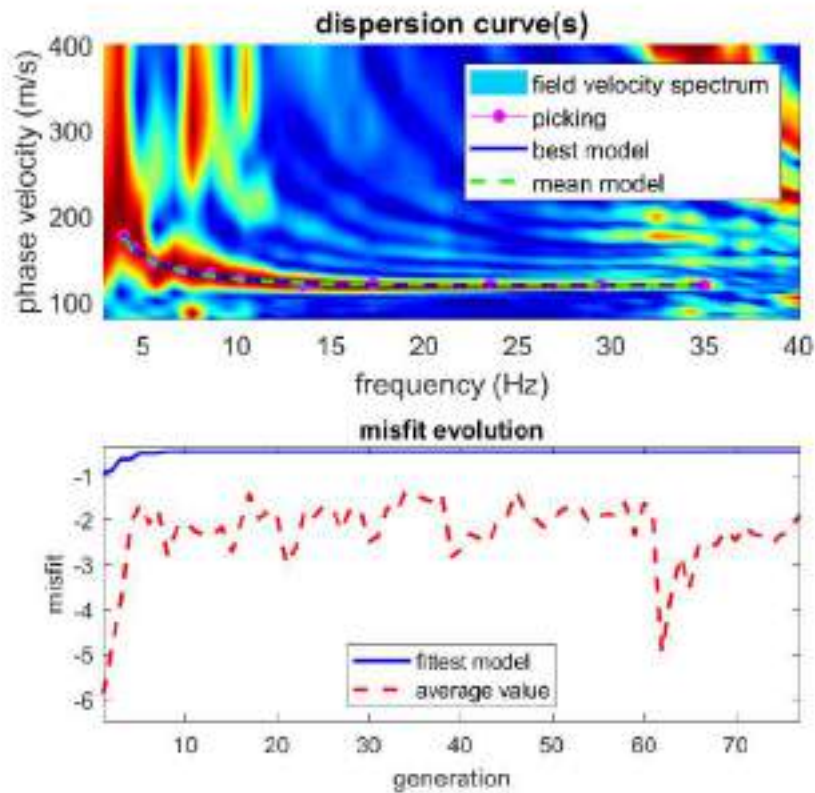
"E:\SISMICA\valdera\_calcinaia\fornacette-valdera-calcinaia-ba\output\_disp".

=====  
winMASW - Surface Waves & Beyond

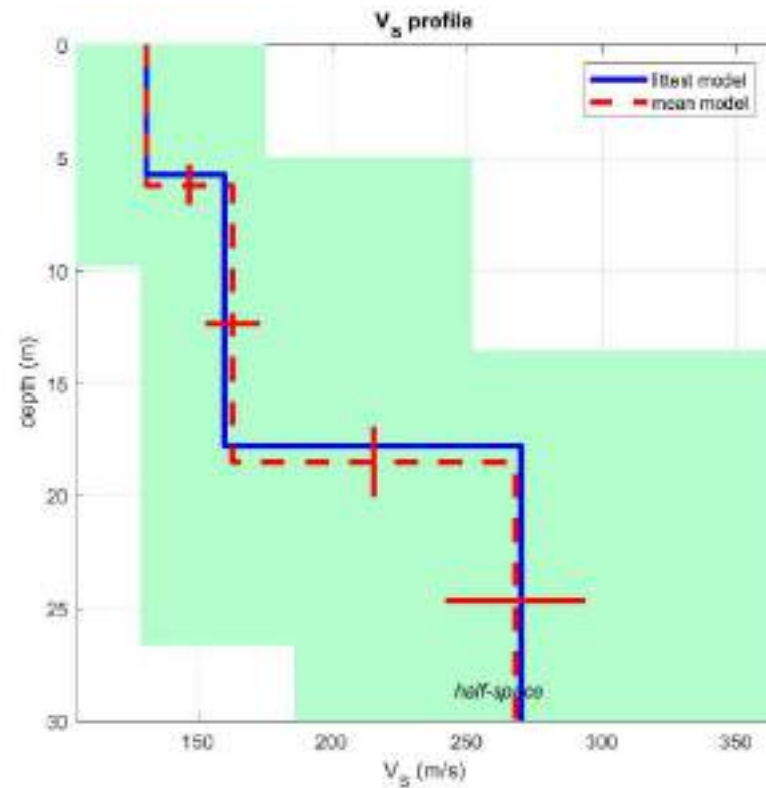
www.winmasw.com

Number of models used to define the mean model: 222

Vs30 for the best model: 198 198



[www.winmasw.com](http://www.winmasw.com)



dataset: 12515.sgy  
 dispersion curve: 12515.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 183 183 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 181 181 m/s

### Mean model

Vs (m/s): 131, 163, 268

Standard deviations (m/s): 0, 10, 26

Thickness (m): 6.2, 12.3

Standard deviations (m/s): 0.9, 1.6

=====  
dataset: 12515.sgy  
sampling (ms): 0.128  
minimum offset (m): 12.5  
geophone spacing (m): 2.5  
offsets (m): 12.5 15 17.5 20 22.5  
25 27.5 30 32.5 35 37.5 40  
42.5 45 47.5 50 52.5 55  
57.5 60 62.5 65 67.5 70  
Dispersion curve: 12515.cdp  
Number of individuals: 32  
Number of generations: 61

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase velocities

Adopted search space (minimum Vs): 89 129 186  
Adopted search space (maximum Vs): 175 252 364

Adopted search space (minimum Poisson): 0.16486 0.17516 0.17492  
Adopted search space (maximum Poisson): 0.49457 0.499 0.499

Adopted search space (minimum Qs): 7.5 12 14.25  
Adopted search space (maximum Qs): 15 24 28.5

Adopted search space (minimum reference frequency): 1  
Adopted search space (maximum reference frequency): 34.9596

Adopted search space (minimum thickness): 5 8.5714  
Adopted search space (maximum thickness): 9.8 16.8

Output folder:  
E:\SISMICA\valdera\_calcinaia\sardina-valdera-calcinaia\output\_disp

=====  
Rayleigh-wave analysis  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -5.8938  
-0.96529  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -4.7649  
-0.86584  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -3.7954  
-0.64382  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -2.1066  
-0.64382  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -1.6407  
-0.49943  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -2.0924  
-0.49943  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -1.7612

-0.49943  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -2.7713  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -2.1993  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -2.0335  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -2.2454  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -2.323  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -2.3354  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -2.1604  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -2.7164  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -2.0889  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -1.4171  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -1.9752  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -1.7709  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -1.8715  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -2.9983  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -2.6148  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -1.7538  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -1.9287  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -1.6822  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -1.7168  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -2.246  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -1.7236  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -1.7611  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -2.4825  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -2.3625  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits: -1.7132  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits: -1.8339  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits: -1.3842



-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits: -1.3902  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits: -1.5322  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits: -1.577  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits: -1.4119  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits: -2.8324  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits: -2.6596  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits: -2.3015  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 42; average & best misfits: -2.3962  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 43; average & best misfits: -2.5166  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 44; average & best misfits: -2.0611  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 45; average & best misfits: -1.9688  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 46; average & best misfits: -1.354  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 47; average & best misfits: -1.7531  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 48; average & best misfits: -1.9289  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 49; average & best misfits: -2.1526  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 50; average & best misfits: -2.0115  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 51; average & best misfits: -1.7859  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 52; average & best misfits: -1.6747  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 53; average & best misfits: -1.6893  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 54; average & best misfits: -2.0568  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 55; average & best misfits: -1.9119  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 56; average & best misfits: -1.8582  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 57; average & best misfits: -1.9029  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 58; average & best misfits: -1.6074  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 59; average & best misfits: -2.3316  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 60; average & best misfits: -1.618  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 61; average & best misfits: -1.8807

-0.46081  
Adopted search space (minimum Vs): 89 129 186  
Adopted search space (maximum Vs): 175 252 364  
Adopted search space (minimum Qs): 7.5 12 14.25  
Adopted search space (maximum Qs): 15 24 28.5  
Adopted search space (minimum reference frequency): 1  
Adopted search space (maximum reference frequency): 34.9596  
Adopted search space (minimum Poisson): 0.16486 0.17516 0.17492  
Adopted search space (maximum Poisson): 0.49457 0.497 0.497  
Adopted search space (minimum thickness): 5 8.5714  
Adopted search space (maximum thickness): 9.8 16.8  
Now a finer search around the most promising search space area  
Rayleigh-wave analysis  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -4.9384  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -3.6273  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -2.7965  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -3.5376  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -2.5423  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -2.6266  
-0.46081  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -2.5308  
-0.45703  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -2.2038  
-0.45703  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -2.4431  
-0.45703  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -2.127  
-0.45568  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -2.3156  
-0.45568  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -2.3499  
-0.45568  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -2.5019  
-0.45568  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -2.3214  
-0.45568  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -2.2722  
-0.45568  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -1.8697  
-0.45568

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):  
Vs (m/s): 131 160 270  
Thickness (m): 5.8 12

Number of models considered to calculate the average model: 243

#####  
RESULTS  
#####

Dataset: 12515.sgy  
Analyzed curve/spectrum: 12515.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====

MEAN MODEL

Vs (m/s): 131 163 268  
Standard deviations (m/s): 0 10 26

Thickness (m): 6.2 12.3  
Standard deviations (m): 0.9 1.6

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 212 421 546  
Density (gr/cm3): 1.68 1.84 1.91  
Vp/Vs ratio: 1.62 2.58 2.04  
Poisson: 0.19 0.41 0.34  
Shear modulus (MPa): 29 49 137  
Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0

Fundamental mode

Mean model

f(Hz)	VR(m/s)
3.98644	174.253
4.44787	160.8351
5.48608	145.2615
7.04338	135.4243
8.60069	129.8373
10.2157	125.9398
13.561	121.7428
17.3101	120.0551
23.5393	119.3191
29.4225	119.1891
34.9596	119.1633

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 131 160 270  
thickness (m): 5.7659 12.0091

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 209 421 508  
Density (gr/cm3): 1.68 1.84 1.89  
Vp/Vs ratio: 1.60 2.63 1.88  
Poisson: 0.18 0.42 0.30  
Shear modulus (MPa): 29 47 138  
Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

F(Hz)	VR(m/s)
3.98644	177.468
4.44787	162.5023
5.48608	145.385
7.04338	135.4483
8.60069	130.1685
10.2157	126.3851
13.561	121.9422
17.3101	119.9741
23.5393	119.0404
29.4225	118.8575
34.9596	118.8177

===== SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 30 m

Inversion quality: very good

Vs30 & VsE (mean model): 181 181 m/s  
Vs30 & VsE (best model): 183 183 m/s

===== SECTION#6

For Italian Users:

Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Results saved in the folder

"E:\SISMICA\valdera\_calcinaia\sardina-valdera-calcinaia\output\_disp".

=====  
winMASW - Surface Waves & Beyond  
www.winmasw.com

Number of models used to define the mean model: 243  
Vs30 for the best model: 183 183  
Analyzing phase velocities